برهم کنش های موج

در این فصل مطالب زیر مورد بررسی قرار می گیرد

۱)بازتاب موج

۲)شکست موج

۳)پراش موج

۴)تداخل موج

Dr:B.Barati
09163014685

مقدمه:

امواج یا با محیط یا با خود برهم کنش انجام می دهند. پژواک نمونه ای از بازتاب امواج مکانیکی است، بطور مثال خفاش برای پیدا کردن مسیر یا طعمه خود از پژواک استفاده می کند.

نور بخشی از طیف امواج E-M می باشد پس از اینکه به سطح اجسام برخورد کرد بازتاب آن به چشم ما می رسد وآن جسم را می بینیم دید.

شکست نوعی دیگر از برهم کنش امواج با محیط است ، شکست وقتی رخ می دهد که جهت پیشروی موج در ورود به یک محیط جدید تغییر کند. بطور مثال وقتی از بالا به ماهی یا سکه درون ظرف آبی نگاه کنیم آن ها را بالاتر از جای واقعی (مکانی ظاهری) به علت شکست نور می بینیم.

پراش نوعی دیگر از برهم کنش امواج با محیط و تداخل نمونه ای از برهم کنش امواج یا یکدیگر است.

Dr:B.Barati

مثالهایی از کاربرد بازتاب تولید صدا در آلات موسیقی، پژواک صداها، دیدن ماه، دیدن صفحهٔ این کتاب، گرم شدن مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی، جمع شدن امواج رادیویی در کانون آنتن‌های بشقابی

امواج در زندگی بشر:

بازتابش امواج

۱) بازتاب امواج مکانیکی

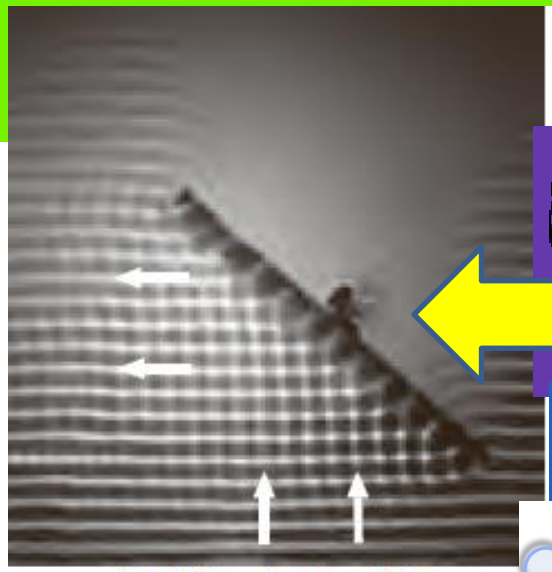
۲) امواج الکترومغناطیس

بازتاب امواج مکانیکی : اگر تپی را در یک فنر (یا یک ریسمان) کشیدهٔ بلند که یک سر آن بر تکیه‌گاهی ثابت شده است روانه کنیم وقتی تپ به تکیه‌گاه (مرز) می‌رسد نیرویی به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون، تکیه‌گاه نیز نیرویی با اندازهٔ برابر در جهت مخالف بر فنر وارد می‌آورد. این نیرو در محل تکیه‌گاه، تپی در فنر ایجاد می‌کند که روی فنر در جهت مخالف تپِ تابیده حرکت می‌کند بطوریکه شکل های زیر طرحی واضح از تابش و بازتابش چنین تپی را نشان می‌دهد. چنین بازتابی را بازتاب در یک بُعد می‌گویند.

$$\Delta\theta = \pi(rad)$$

Dr:B.Baratii

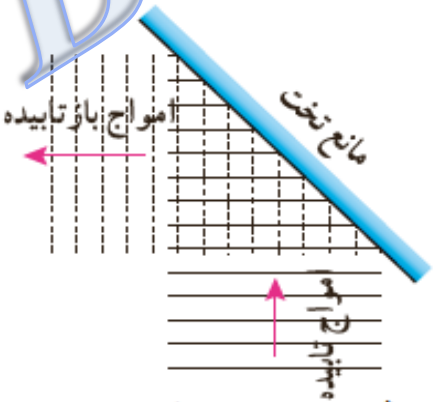
بازتاب دو بعدی: وقتی تیغهٔ تختی را بر سطح آب تشت موج به نوسان درمی‌آوردیم، امواج تختی بر سطح آب تشکیل می‌شد. اکنون اگر بر سر راه این امواج مانع‌هایی قرار دهیم، این امواج پس از برخورد با این موانع بازمی‌تابند. به‌چنین بازتابی، بازتاب در دو بُعد می گویند.



بازتاب امواج تخت از مانع نرم در تشت موج

توجه: ساده ترین شکل یک مانع، مانع تختی است که در حضور این مانع امواج بازتابیده از آن تخت می باشند.

توجه: با استفاده از جبهه های موج(بطور تجربی) و نمودار پرتویی می توان برای نشان دادن رفتار موج استفاده نمود

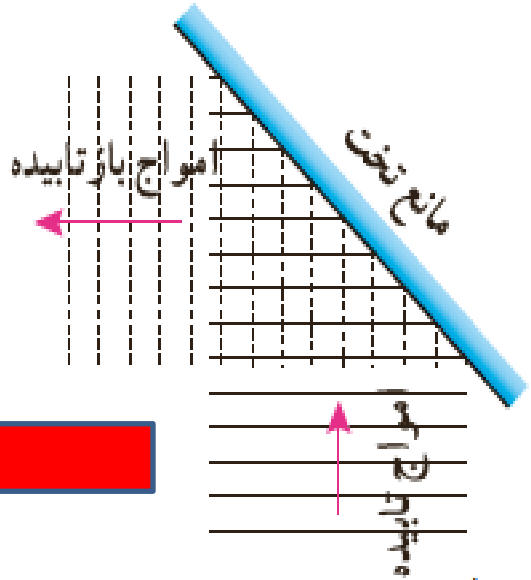


نمایشی از رفتار موج با استفاده از جبهه های تابیده و بازتابیده

Dr:B.Barati

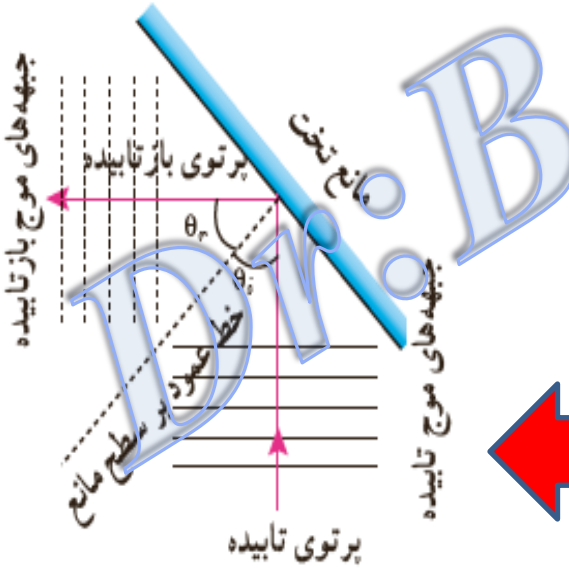
نمایش رفتار موج، استفاده ازنمودار پرتویی

یک پرتو، پیکان مستقیمی خود بر جبهه‌های موج است که جهت انتشار موج را نشان می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان نمودار پرتویی شکل الف را در حضور جبهه‌های موج به‌صورت شکل ب رسم کرد.



نمایشی از رفتار موج با استفاده از جبهه های

شکل الف تابیده و بازتابیده



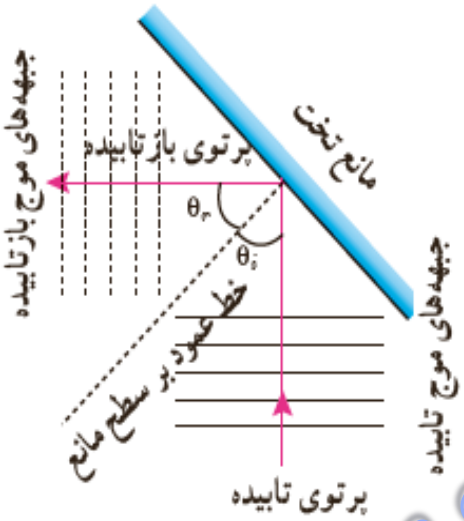
شکل ب نمودار پرتویی همراه با جبهه‌های موج برای بازتاب امواج تخت از سطح مانعی تخت

Dr.B.Barati

توجه:

برای همه انواع موج مانند موج تخت، امواج دایره‌ای یا کروی نیز، همواره زاویهٔ بازتابش برابر با زاویهٔ تابش است

یعنی : $\theta_i = \theta_r$ که به آن، قانون بازتاب عمومی گفته می‌شود.



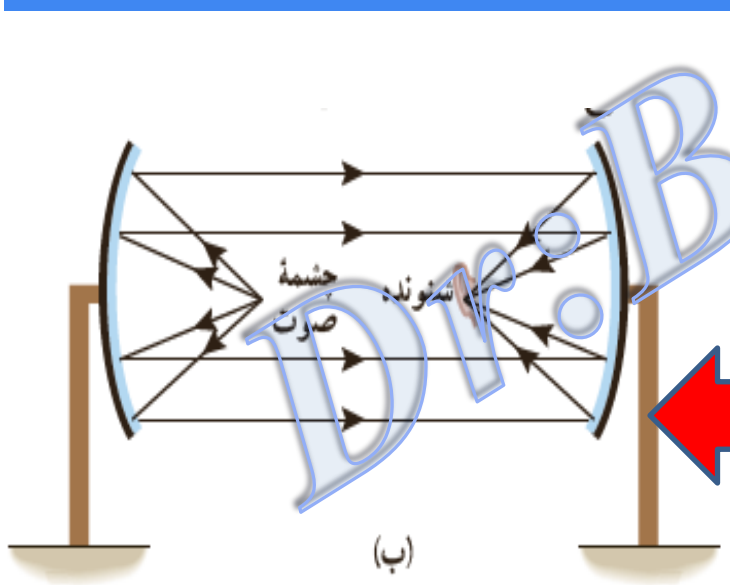
شکل ب نمودار پرتوی همراه با جبهه‌های موج برای بازتاب امواج تخت از سطح مانعی تخت

نمونهٔ دیگری از بازتاب امواج مکانیکی، بازتاب امواج صوتی است. صوت می‌تواند از یک سطح سخت مانند دیوار بازتابش کند. این مثالی از بازتاب امواج در سه بُعد است. بازتاب صوت نیز از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می کند.

Dr.B.Barati

شکل های برای نمایش بازتابش امواج صوتی از سطوح خمیده

امواج صوتی می‌توانند مانند سایر امواج از سطوح خمیده نیز بازتابیده شوند. شاید در پارک‌های تفریحی دو سطح کاو را در برابر هم دیده باشید که وقتی شخصی در کانون یکی از این سطوح صحبت می‌کند، شخص دیگری در کانون سطح کاو دیگر آن را می‌شنود



شکل الف) دو سطح بازتابندهٔ کاو در یک پارک تفریحی و ب) طرحی از بازتاب امواج صوتی از دو سطح کاو مقابل هم با استفاده از نمودار پرتویی

Dr.B.Barati

پژواک در برابر دیواره یا صخرهٔ بلندی که چند ده متر از شما فاصله دارد، بایستید و یک بار دست بزنید. پس از مدت زمان کوتاهی، بازتاب صدای دست زدن خود را خواهید شنید. اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده‌ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک می‌گویند.

توجه: اگر تاخیر زمانی بین این دو صوت کمتر از ۰/۱s باشد، گوش انسان نمی تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد

مکان یابی پژواکی 1) روشی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می کند.

2)مکان یابی پژواکی به همراه پدیده دوپلر، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آنها به کار می رود.

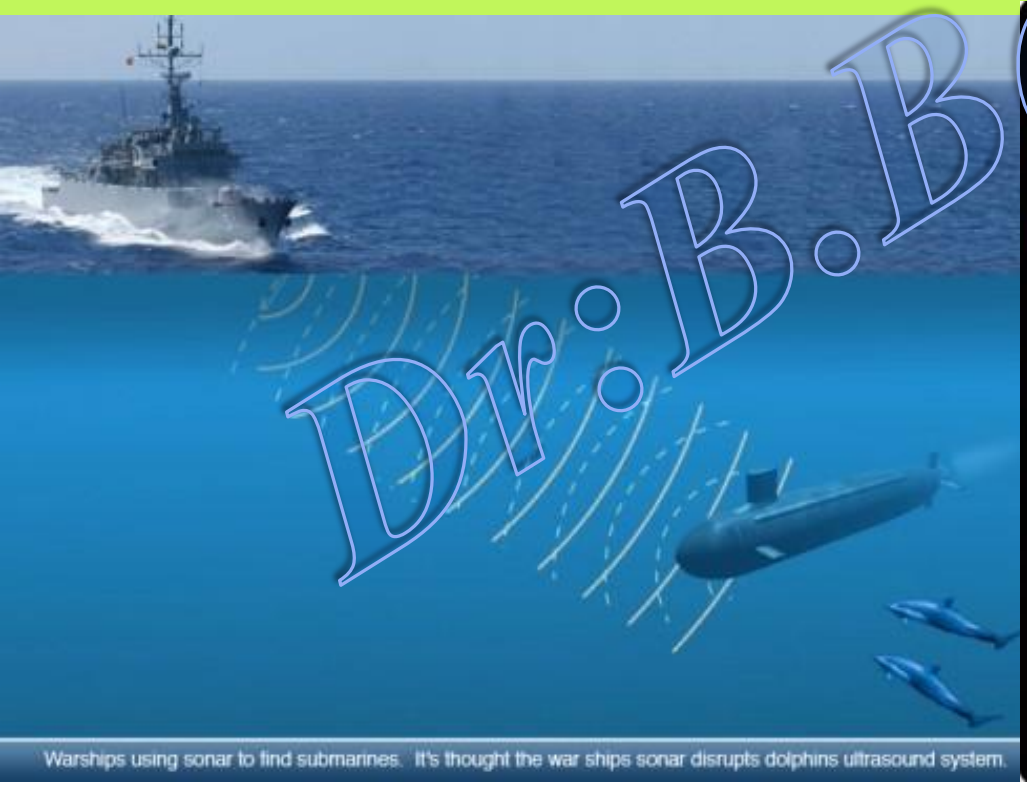
Dr.B.Barati

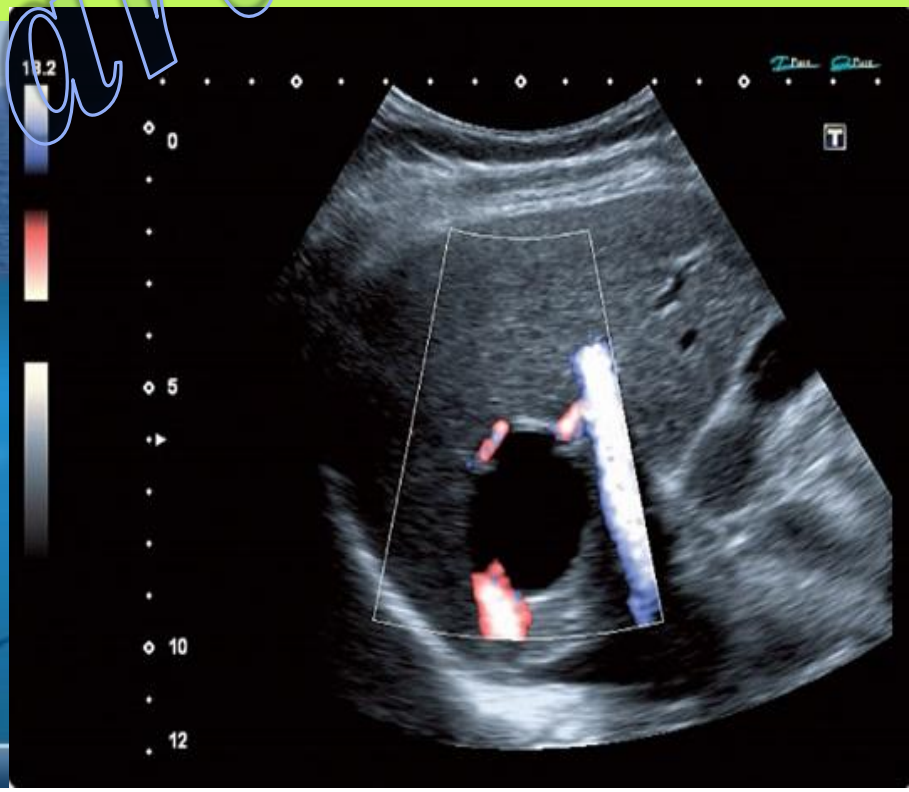
مثالی از مکان یابی پژواکی . خفاش، فَورانی از امواج فراصوتی را گسیل می کند که این بسته به نوع خفاش از دهان یا سوراخ‌های بینی آن گسیل می‌شود. این امواج از اشیایی که در مسیر خفاش قرار دارند بازمی‌تابد و بدین ترتیب خفاش را از اشیایی که بر سر راه او قرار دارند آگاه می‌سازد. البته بسته به اینکه شیء بازتابنده، خودِ خفاش، یا هر دو متحرک باشند، خفاش تغییر بسامدی ناشی از اثر دوپلر را در این بازتابیده ادراک می کند و بدین‌وسیله می‌تواند سرعت خود یا شیء متحرک را تعیین کند. خفاش‌ها از این ویژگی برای شناسایی و شکار طعمه‌های خود استفاده می کنند. .

Dr:B.Barati

3) در فنّاوری‌هایی نظیر اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگها از مکان یابی پژواکی استفاده می شود

4) در دستگاه سونار که در کشتی ها برای مکان یابی اجسام زیر آب بکار می رود و در سونوگرافی نیز از مکان یابی پژواکی استفاده می شود





Dr.B.Barati

مثال: کمترین فاصلهٔ بین شما و یک دیوار بلند چقدر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ تندی صوت در هوا را $340\ m/s$ در نظر بگیرید.

والِ عنبر یکی از جانورانی است که با استفاده از پژواک امواج فراصوتی، مکان‌یابی می‌کند. بسامد امواج فراصوتی‌ای که این وال تولید می‌کند حدود $100\ kHz$ است. با توجه به اینکه تندی صوت در آب دریا طبق جدول کتاب حدود $1/52\times10^{3}\ m/s$ است، الف) طول موج این صوت و ب) زمان رفت و برگشت صوت گسیل شده توسط وال برای مانعی که در فاصلهٔ $100\ m$ از آن قرار گرفته، چقدر است؟

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{1/52\times10^{3}\ m/s}{100\times10^{3}\ s^{-1}}=1/52\times10^{-2}\ m=1/52\ cm$$

$$t=\frac{x}{v}=\frac{2L}{v}=\frac{2\times100\ m}{1/52\times10^{3}\ m/s}=0/132\ s$$

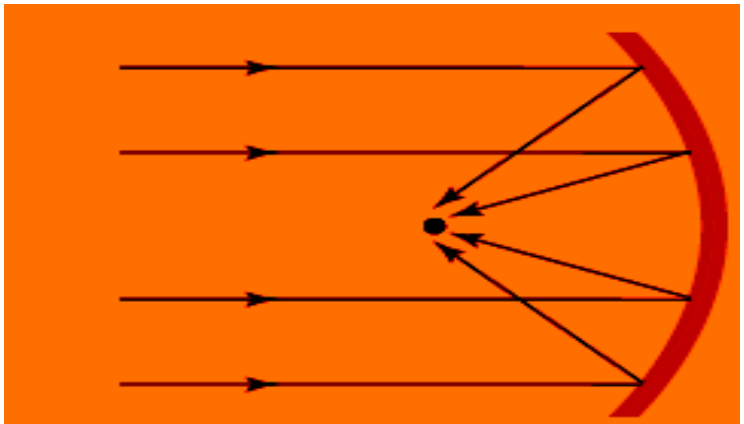
Dr.B.Barati

بازتاب امواج الکترومغناطیسی : امواج الکترومغناطیسی نیز می‌توانند از یک سطح، بازتابیده شوند و بازتاب آنها از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می کند.

امواج الکترومغناطیسی تخت تابیده به یک سطح کاو پس از بازتابش، مانند شکل **الف** در یک نقطه کانونی می‌شوند. این نمونهٔ دیگری از بازتاب در سه بُعد است. از همین سازوکار برای دریافت امواج رادیویی توسط آنتن‌های بشقابی و یا امواج فروسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی شکل ب استفاده می شود

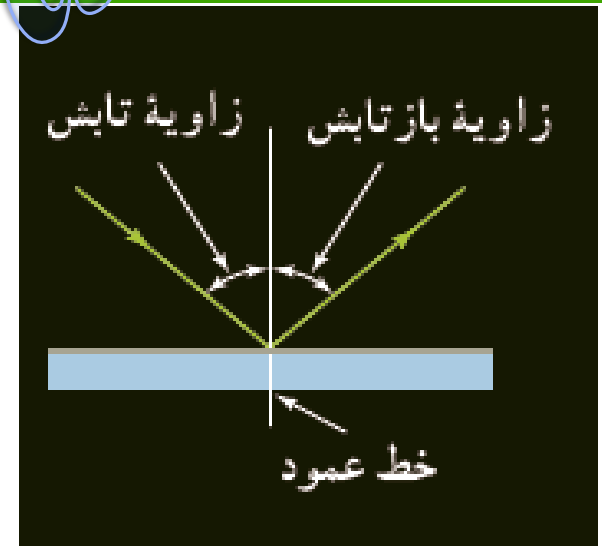
Dr:B.Barati

ب)تصویری از یک اجاق خورشیدی

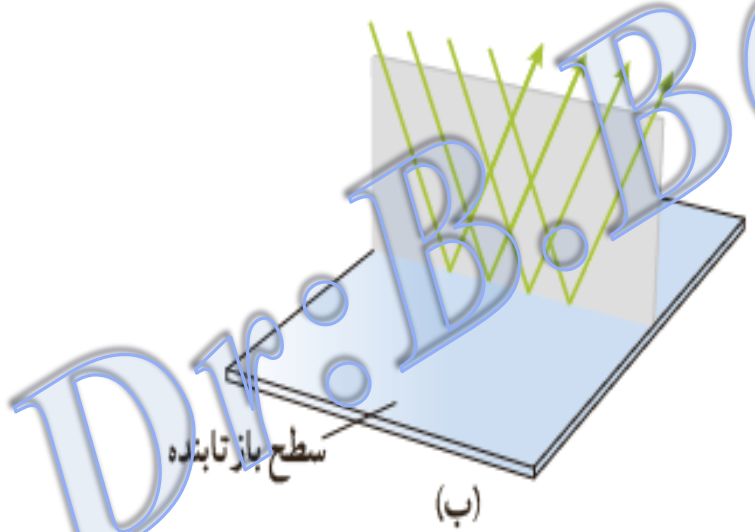


الف) یک موج الکترومغناطیس پس از بازتاب از یک سطح کاو در نقطه ای مقابل سطح ، کانونی می می شود

توجه مهم: نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است. بنابراین نور مرئی نیز از همان قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می کند؛ یعنی زاویهٔ تابش و بازتابش در هر بازتابشی با هم برابرند(به شکل الف توجه کنید). افزون بر این، برای نور مرئی نیز همچون سایر امواج، پرتوی تابش، پرتوی بازتابش، و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر بازتابشی در یک صفحه واقع‌اند(شکل ب).



(الف)



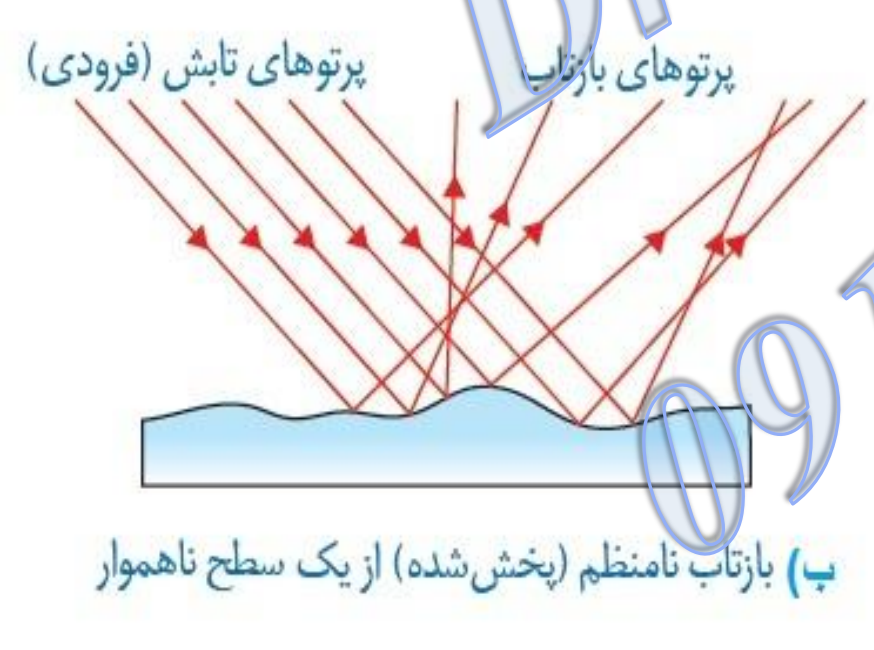
(ب)

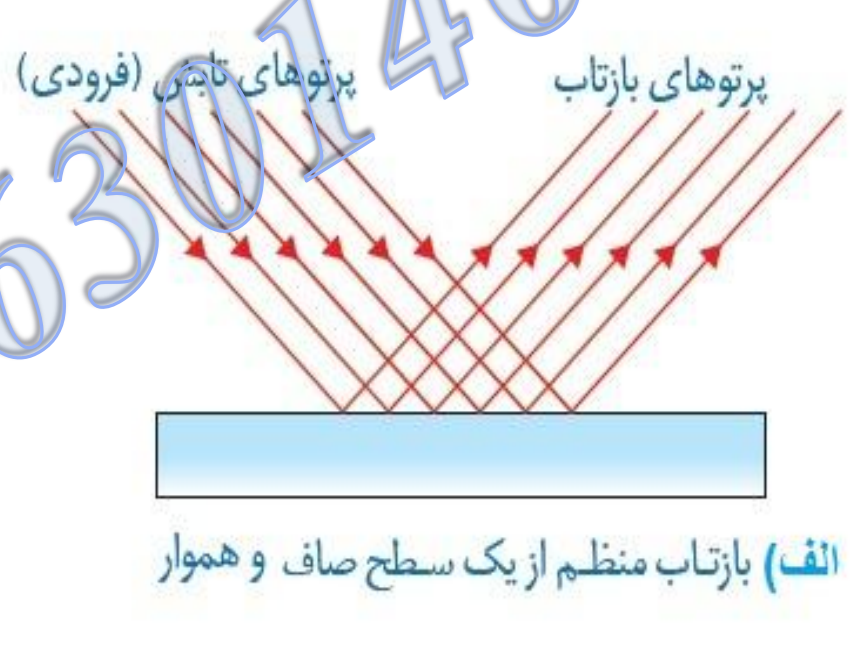
Dr.B.Barati

انواع بازتابش

الف)بازتابش آینه ای (منظم):اگر سطح بازتاباننده نور همچون یک آینه ، بسیار هموار باشد بازتاب نور را آینه ای گویند (شکل الف)

ب)بازتابش غیر آینه ای (نامنظم): وقتی رخ می دهد که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد. پرتوهای نور به طور کاتوره ای از پستی و بلندی های سطح بازتابیده پراکنده می شوند (شکل ب)





Dr.B.Barati
09163014685

تفاوتِ بین بازتابش آینه ای با غیر آینه ای: در بازتاب آینه‌ای از یک آینهٔ تخت، بازتابش یک دسته پرتوی موازی را فقط در یک جهت می‌توانید ببینید، ولی در بازتاب پخشنده، بازتابش این دسته پرتو را می‌توانید در جهت‌های مختلف مشاهده کنید.

مقایسه سطح هموار و ناهموار بر اساس طول موج نور: منظور از سطح ناهموار آن است که سطح در مقایسه با طول‌موج نور ناهموار است. مثلاً یک کاغذ در ظاهر بسیار هموار به نظر می‌رسد اما از دید میکروسکوپی این سطح از اجزای متمایز و کوچکی تشکیل شده است که بسیار بزرگ‌تر از ۱μm هستند. با توجه به اینکه طول‌موج نور مرئی در حدود ۰/۵μm است، چنین سطحی برای نور مرئی، ناهموار محسوب می‌شود. در مقابل، ناهمواری‌های یک آینه یا یک سطح فلزی صیقلی، بسیار کوچک‌تر از ۱μm است و بنابراین برای نور مرئی سطوحی هموار محسوب می‌شوند.

Dr:B.Barati

مثالهایی از شکست امواج:

رنگ‌های رنگین کمان، تصویری که با کمک عینک می‌بینیم، تصاویری که با استفاده از عدسی‌های ابزارهای نوری مانند میکروسکوپ و دوربین دیده می‌شود، و... مثال‌های رایجی از شکسته‌شدن موج‌های نوری در پیرامون ما است. این پدیده برای امواج صوتی نیز رخ می‌دهد ولی به اندازهٔ موج‌های نوری اهمیت ندارد.

تاثیر محیط روی موج ورودی: وقتی موج به مرز جدایی دو محیط می‌رسد بخشی از آن بازتابیده می‌شود و بخشی دیگر عبور می‌کند که این افزون بر جذب موج است که در هر دو محیط رخ می‌دهد.

Dr.B.Barati

بررسی موج هنگام عبور از مرز مشترک دو محیط:

برای این موضوع طنابی متشکل از دو قسمت نازک و ضخیم اختیار می کنیم:

الف)وقتی یک تپ از قسمت بخش نازک به مرز دو بخش برسد (شکل الف) بخشی از این تپ بازتابش پیدا می کند و بخشی دیگر عبور می کند(شکل ب)

توجه:برای یک موج سینوسی، بسامد این دو موج همان بسامد موج فرودی است که توسط چشمه موج تعیین می شود و هنگام عبور موج از قسمت ضخیم تندی موج کمتر است و بنابه رابطه $\lambda = \frac{v}{f}$ طول موج کمتری نسبت به موج فرودی خواهد داشت.

Dr.B.Barati

تمرین: اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، بسامد، تندی، و طول موجِ موجِ عبوری در مقایسه با موج فرودی چه تغییری می کند؟

Dr:B.Barati

توجه: در حالت‌های دو یا سه بُعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا کند.

شکست امواج سطحی آب :

۱)با توجه به این که در تشت موج که عمق آن کم است تندی موج سطحی به عمق تشت بستگی دارد از این ویژگی برای تحقیق پدیده شکست در تشت موج استفاده می شود.

۲)یعنی با تغییر دادن عمق اب در بخشی از تشت می توان تندی موج سطحی در آن بخش را تغییر داد که منجر به تغییر جهت انتشار موج در آن بخش و به عبارتی منجر به شکست موج می شود

۳)با ورود موج به بخش کم عمق تندی موج سطحی کاهش می یابد .

الف) طرحی از شکست امواج سطحی در مرز آب عمیق و آب کم عمق در تشت موج

ب) تصویری واقعی از شکست امواج سطحی در تشت موج

Dr:B.Barati

۴)واضح است آن بخش موج که زودتر به ناحیه کم عمق می رسد چون با تندی کمتر حرکت می کند از بقیه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می افتد

۵)بر این اساس فاصله بین جبهه های موج و در نتیجه طول موج کاهش می یابد وبه این ترتیب جبهه های موج در مرز دو ناحیه تغییر جهت می دهند(شکل)

Dr:B.Barati

الف) طرحی از شکست امواج سطحی در مرز آب عمیق و آب کم عمق در تشت موج

ب) تصویری واقعی از شکست امواج سطحی در تشت موج

۶)این مطلب را هنگام نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیب دارمی توان مشاهده کرد زیرا با رسیدن جبهه های موج به ساحل که در آنجا عمق آب کم می شود جهت انتشار جبهه های موج تغییر می کنند.

شکل: وقتی اسباب‌بازی وارد قالیچه می‌شود مسیرش تغییر می‌کند؛ زیرا چرخی که نخست به قالیچه می‌رسد، زودتر کند می‌شود.

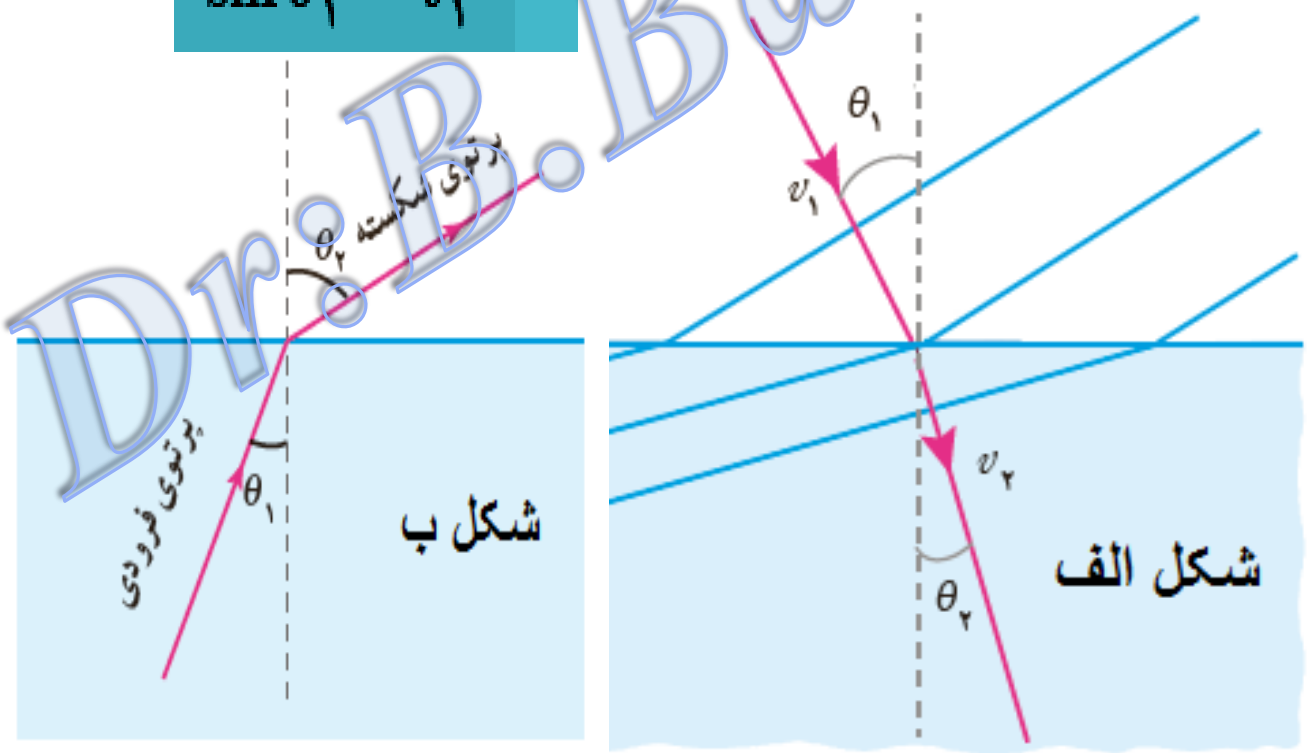
Dr:B.Barati

قانون شکست عمومی :

در شکل **الف** موجی تخت از محیطی با تندی بیشتر به محیطی با تندی کمتر رفته است. ولی اگر موج در جهت مخالف حرکت کند، یعنی از محیط دوم که در آن تندی موج کمتر است وارد محیط اول شود که در آن تندی موج بیشتر است، زاویهٔ شکست بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش می‌شود (شکل ب)

قانون شکست عمومی

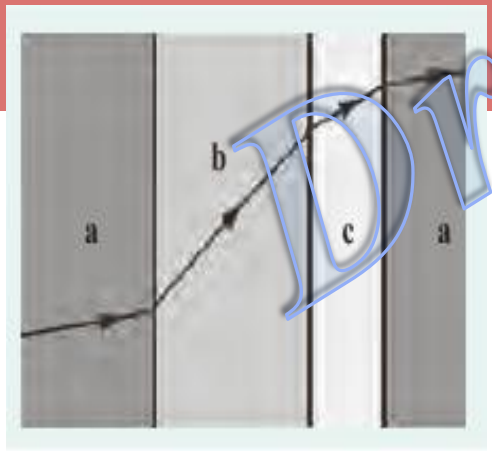
$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



Dr.B.Barati

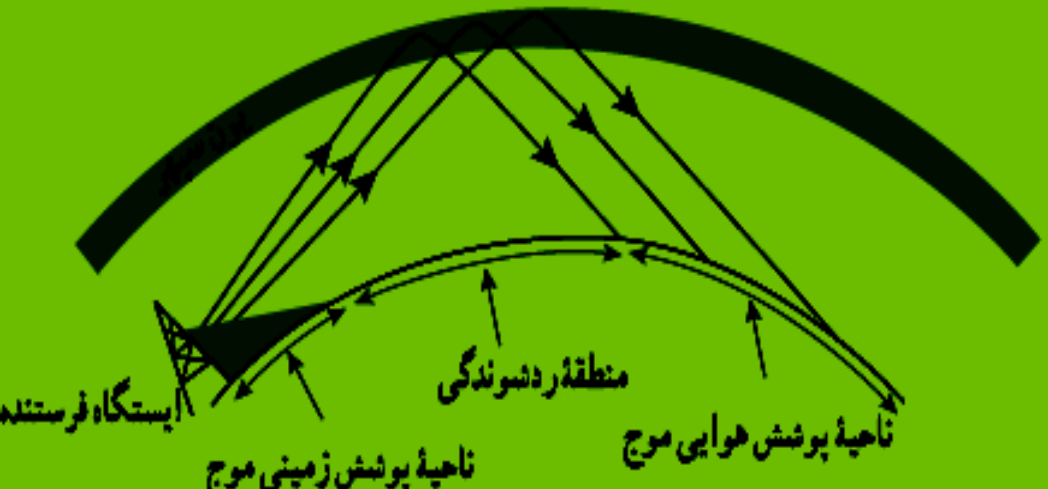
شکست امواج الکترومغناطیسی : امواج الکترومغناطیسی (و از جمله نور مرئی) نیز با گذر از یک محیط به محیطی دیگر که در آن تندی آنها متفاوت می‌شود، شکست پیدا می کنند. به جز گسترهٔ نور مرئی که بیشترین و معروف‌ترین موارد شکست برای آنها مطرح می‌شود و به پیامدها و کاربردهای جالبی می‌انجامد، شکست امواج رادیویی نیز اهمیتی کاربردی در ارتباطات رادیویی دارد.

شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a، از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی گردد. این محیط‌ها را بر حسب تندی موج در آنها از بیشترین تا کمترین مرتب کنید.



Dr:B.Barati

بررسی مراحل شکست امواج رادیویی از زمان تولید تا زمان ارسال و رسیدن:



در این شکل *ناحیهٔ پوشش زمینی* مربوط به پیرامون ایستگاه است، که امواج به‌طور مستقیم به گیرنده می‌رسد. *منطقهٔ ردشوندگی* ناحیه‌ای است که موج به زمین نمی‌رسد، و *ناحیهٔ پوشش هوایی* ناحیه‌ای است که امواج رادیویی با بازگشت از یون‌سپهر به زمین می‌رسد.

یک موج پر قدرت رادیویی، با بسامد بین ۳ تا ۳۰ مگاهرتز، به لایهٔ یون‌سپهر (یونسفر) بالای بر که در ارتفاع ۸۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری سطح زمین واقع است فرستاده می‌شود. این لایه به علت وجود یون‌ها و الکترون‌های آزاد، پلاسمایی را ایجاد می‌کند که ویژگی‌های فیزیکی‌اش آن را از بقیهٔ جو متمایز می‌سازد. یون‌سپهر در حالی که نور مرئی و تابش فروسرخ را عبور می‌دهد، امواج رادیویی با طول‌موج‌های بلند (با λی بزرگ‌تر از حدود ۱۰m) را که در جهت‌های مناسبی به سوی این لایه ارسال شده باشند، به طرف زمین برمی‌گرداند.

دلیل: این اتفاق، یکنواخت نبودن چگالی الکترون‌های آزاد در این لایه و در نتیجه، تفاوت تندی امواج رادیویی در قسمت‌های مختلف آن است و همین امر امواج را به سمت پایین باز می‌گرداند.

Dr.B.Barati

تعریف شکست نور و رابطه ضریب شکست

وقتی یک پرتوی نور از محیطی شفاف وارد محیط شفاف دیگری شود، بخشی از نور بازمی‌تابد و بخشی دیگر وارد محیط دوم می‌شود. همان‌طور که انتظار داریم آن بخش نور که وارد محیط دوم می‌شود، به دلیل آنکه تندی آن در محیط دوم تغییر می‌کند، شکسته می‌شود (شکل مقابل). به همین دلیل برای هر محیط ضریب شکست تعریف می‌کنند که برابر با نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط است:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}} = \frac{c}{v}$$

شکست نور: در عبور یک پرتوی نور از محیطی شفاف به محیط شفافی دیگر، بخشی از نور بازمی‌تابد و بخشی می‌شکند.

Dr:B.Barati

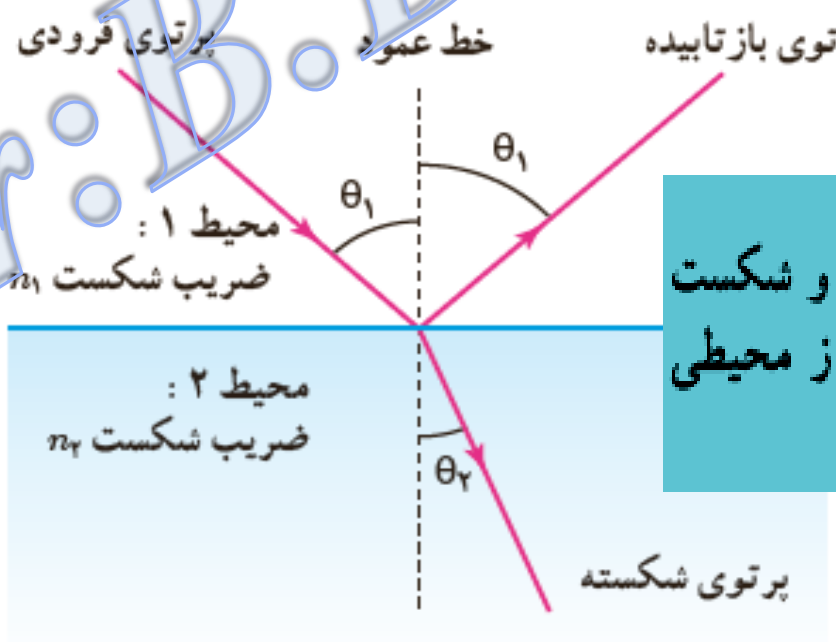
رابطه شکست اسنل

هرگاه پرتو نوری از هوا یا خلا به محیط شفافی با ضریب شکست بیشتر وارد شود پرتو شکست پیدا می کند و به خط عمود نزدیک شده و همچنین مقداری از نور بازتابش پیدا می کند

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$n = \frac{c}{v}$$

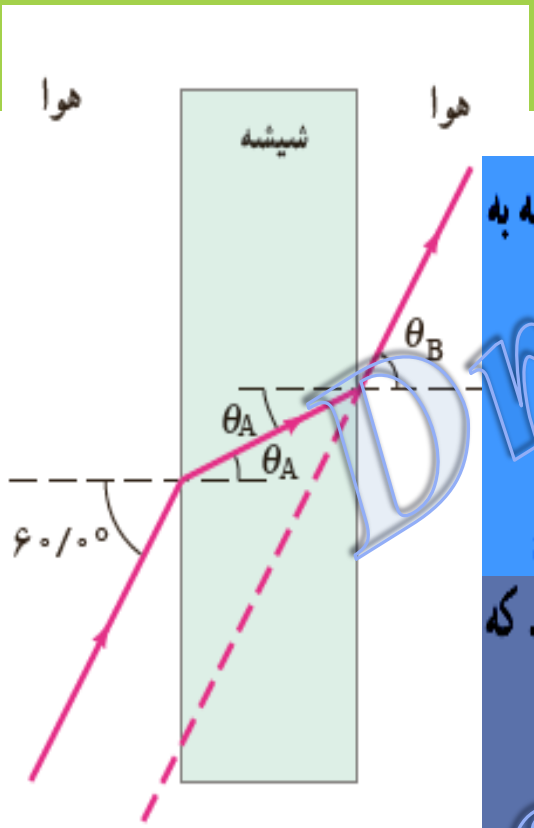
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$



نمایشی از بازتاب و شکست نور، در عبور یک پرتوی نور از محیطی شفاف به محیط شفافی دیگر

Dr:B.Borati

مثال: پرتوی نوری مطابق شکل، از هوا بر تیغهٔ شیشه‌ای متوازی‌السطوحی، با زاویهٔ تابش $60/0^\circ$ فرود می‌آید. الف) زاویهٔ شکست (θ_A) پرتو در شیشه چقدر است؟ ب) زاویه خروجی (θ_B) پرتو از شیشه چقدر است؟



پاسخ: برای رد شدن پرتوی نور از هوا به شیشه قانون شکست اسنل را به کار می‌بریم. با توجه به جدول کتاب ضریب شکست هوا $n_1=1/00$ و ضریب شکست شیشه $n_2=1/52$ است.

$$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2 \Rightarrow (1/00)(\sin 60/0^\circ)=(1/52)(\sin\theta_A)$$

$$\sin\theta_A = 0/5698 \Rightarrow \theta_A = 34/7^\circ$$

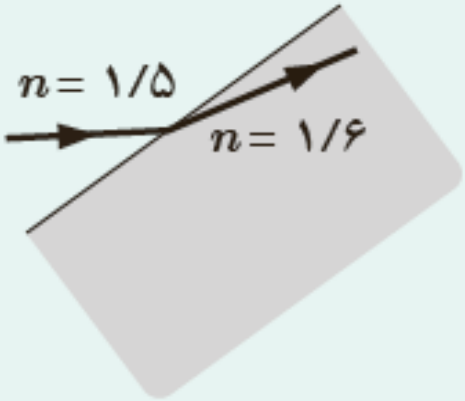
و برای خروج پرتوی نور از شیشه نیز دوبار قانون اسنل را به کار می‌بریم. توجه کنید که زاویهٔ تابش در اینجا برابر زاویهٔ شکست در شیشه است؛ یعنی $\theta_1=\theta_A$.

$$n_2\sin\theta_2 = n_1\sin\theta_1 \Rightarrow (1/52)(0/5698) = (1/00)(\sin\theta_B)$$

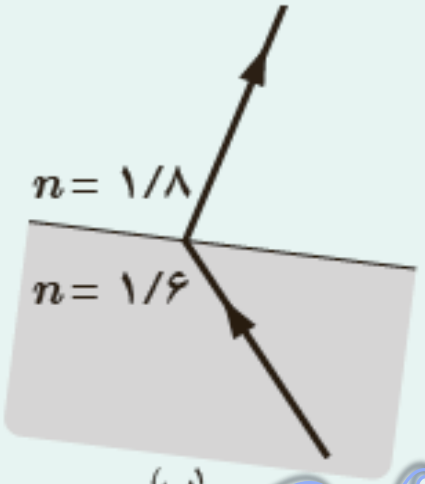
$$\sin\theta_B = 0/8661 \Rightarrow \theta_B = 60/0^\circ$$

Dr:B:Barati
09163014685

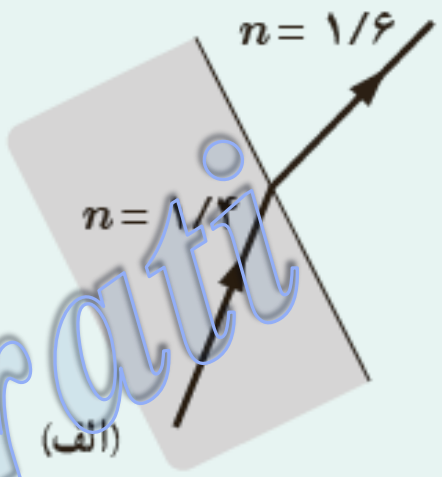
کدام‌یک از سه شکل زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



(پ)



(ب)



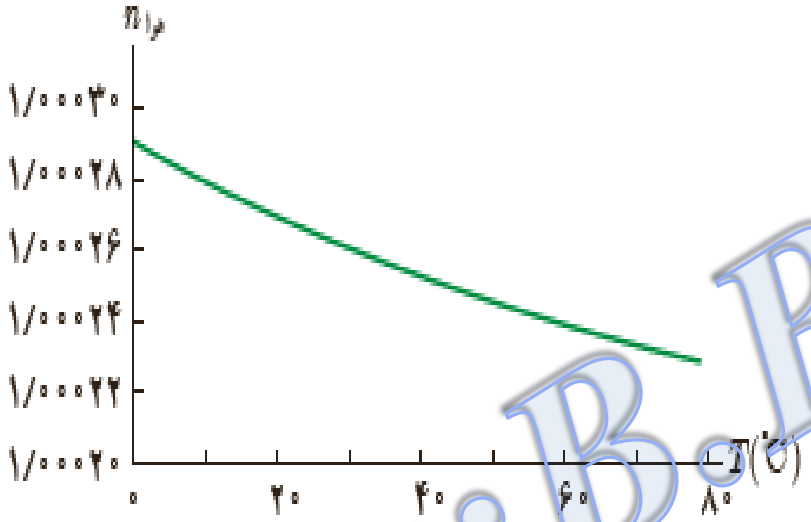
(الف)

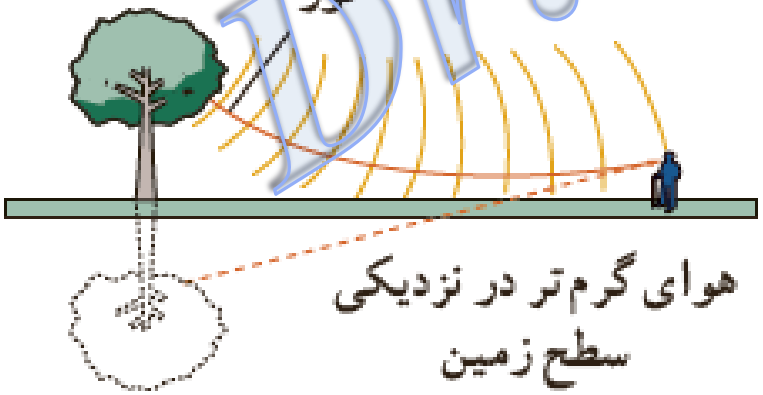
Dr:B.Barati

سراب : در روزهای گرم ممکن است برکهٔ آبی را در دوردست ببینید که بر سطح زمین قرار دارد، اما وقتی به آن محل می‌رسید، آنجا را خشک می‌یابید. به این پدیده سراب یا سراب آبگیر می‌گویند و نه‌تنها می‌توان آن را دید، بلکه می‌توان از آن عکس هم گرفت (شکل زیر)

Dr:B.Barati

توجه: در روزهای گرم هوای سطح زمین نسبتا داغ است. از طرفی، چگالی هوا با افزایش دما کاهش می‌یابد که این سبب کاهش ضریب شکست نیز می‌شود (شکل مقابل)





توجه: مدل‌سازی پدیدهٔ سراب به کمک جبهه‌های موج. ناظری که پرتوهای نور در پدیدهٔ سراب به چشمش می‌رسد، گمان می‌برد که این پرتوها از یک تصویر آمده‌اند.

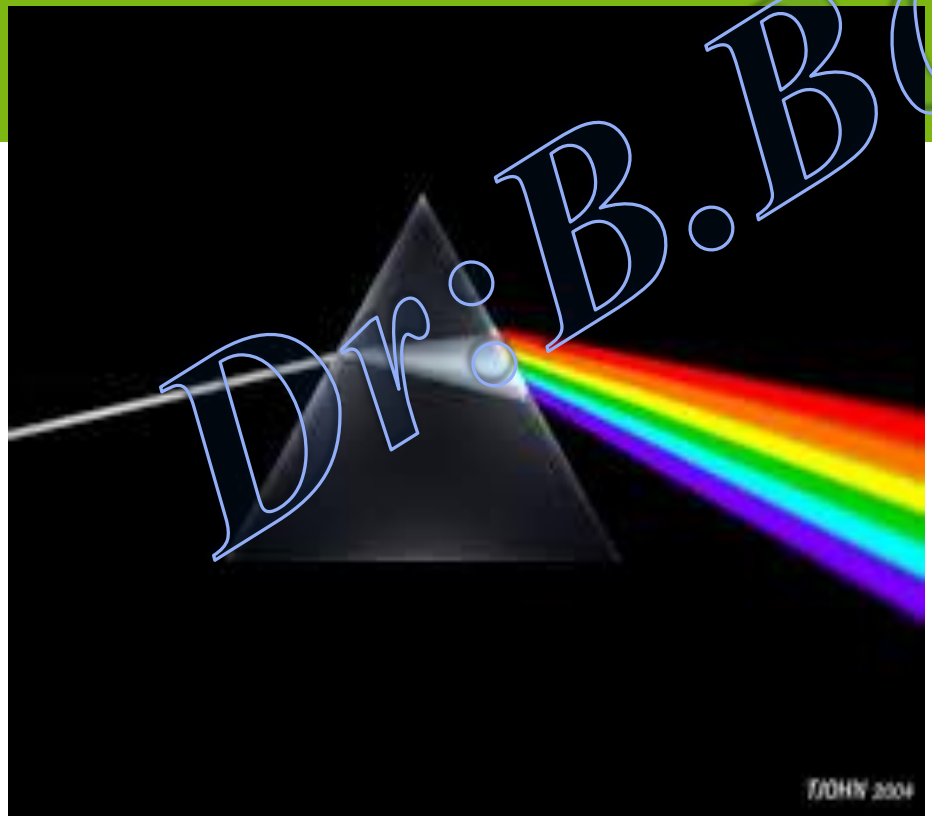
Dr.B.Barati

توجیه پدیده سراب بر اساس جبهه های موج: برای توضیح این مطلب نخست جبهه‌های موجی را در نظر می‌گیریم که به طرف پایین می‌آیند. با پایین آمدن هر چه بیشتر پرتوهای نظیر این جبهه‌های موج، آنها با ضریب شکست‌های کوچک‌تر و کوچک‌تری روبه‌رو می‌شوند و در هر مرحله با دور شدن از خط عمود، بیشتر و بیشتر به سمت افق خم می‌شوند **(شکل الف)**

وقتی پرتوها در نزدیکی سطح زمین تقریباً افقی می‌شوند به سمت بالا خم برمی‌دارند. این خم شدن رو به بالا را می‌توان با استفاده از جبهه‌های موج توضیح داد. بخش پایینی هر جبههٔ موج در هوای کمی گرم‌تر قرار دارد و بنابراین کمی تندتر از بخش بالایی جبههٔ موج حرکت می‌کند و این تفاوت رفتار دو قسمت جبهه‌های موج، موجب خم شدن رو به بالای پرتوهای موج می‌شود، زیرا پرتوهای موج باید همواره عمود بر جبهه‌های موج باشند **(شکل ب)** . وقتی پرتوها رو به بالا می‌روند به خم‌شدن رو به بالای خود ادامه می‌دهند، زیرا اکنون مدام با محیط‌هایی با ضریب شکست‌های بزرگ و بزرگ‌تر مواجه می‌شوند و بنابراین در هر مرحله با نزدیک شدن به خط عمود، بیشتر و بیشتر رو به بالا خم می‌شوند **(شکل پ)**

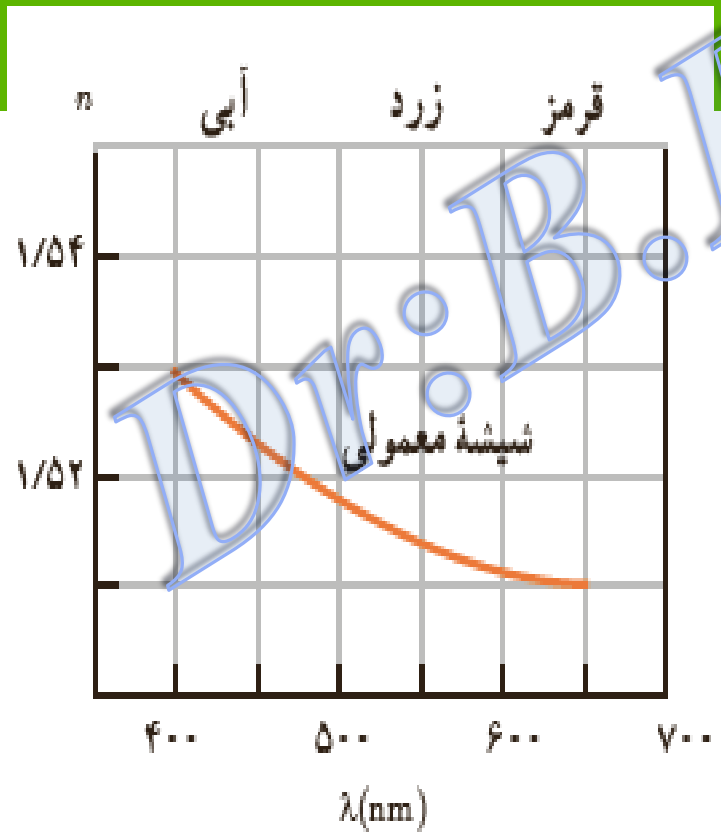
Dr.B.Barati

پاشندگی نور: جداسازی رنگهای نور سفید توسط منشور را پاشندگی گویند (شکل زیر) ، دلیل این پدیده آن است که ضریب شکست هر محیطی به‌جز خلأ به طول‌موج نور بستگی دارد؛ یعنی وقتی باریکهٔ نوری شامل پرتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند.



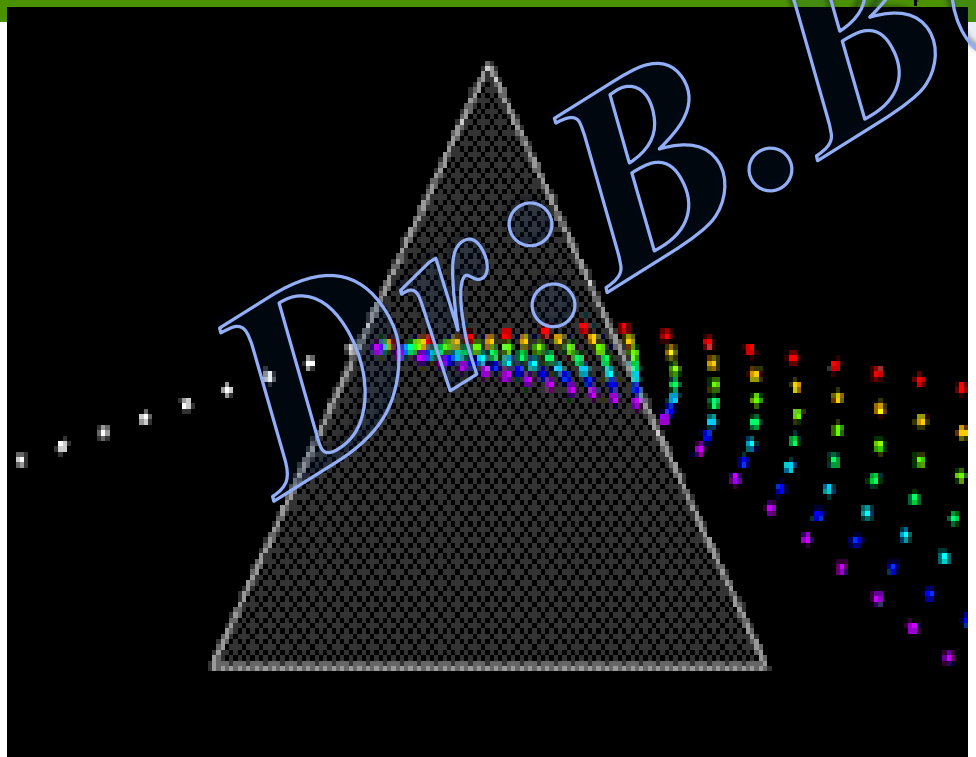
Dr.B.Barati

توجه: ضریب شکست یک محیط معیّن برای طول‌موج‌های کوتاه‌تر، بیشتر است. نمودار شکل مقابل این وابستگی ضریب شکست به طول‌موج نور را برای شیشهٔ معمولی نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار اگر مثلاً دو باریکهٔ نور آبی و قرمز با زاویهٔ تابش یکسانی از هوا وارد شیشه شوند باریکهٔ آبی بیشتر از باریکهٔ قرمز خم می‌شود.

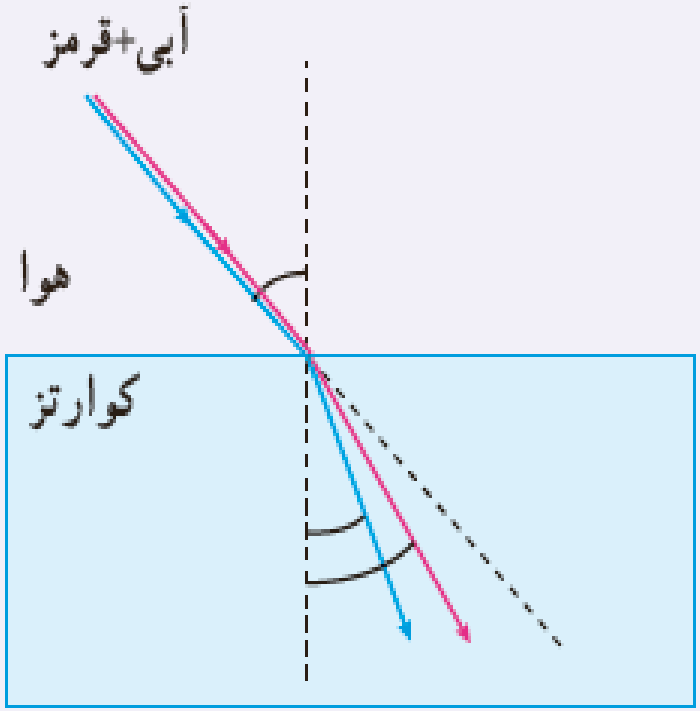


Dr.B.Barati

تجزیه نور سفید: اگر باریکهٔ نور سفید از هوا بر یک سطح شیشه‌ای فرود آید بر اثر شکست نور، مؤلفه‌های سازندهٔ باریکهٔ نور سفید هر کدام به میزان متفاوتی خم می شوند که البته این تفاوت چندان محسوس نیست. برای افزایش جدایی رنگ‌ها در پاشندگی نور، معمولاً از یک منشور با سطح مقطع مثلثی استفاده می کنیم. پاشندگی نور در سطح اول، سپس با پاشندگی در سطح دوم افزایش می‌یابد و مؤلفه‌های رنگی نور سفید به‌طور محسوسی از هم جدا می‌شوند



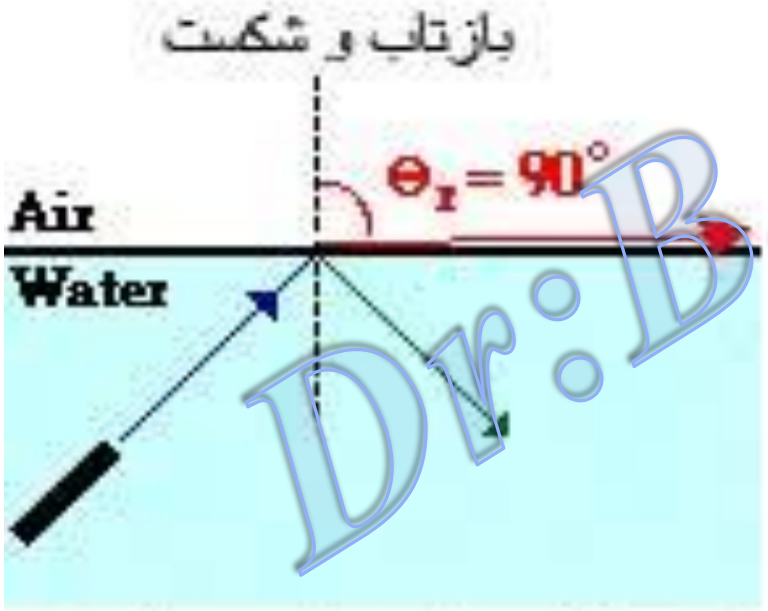
Dr.B.Barati



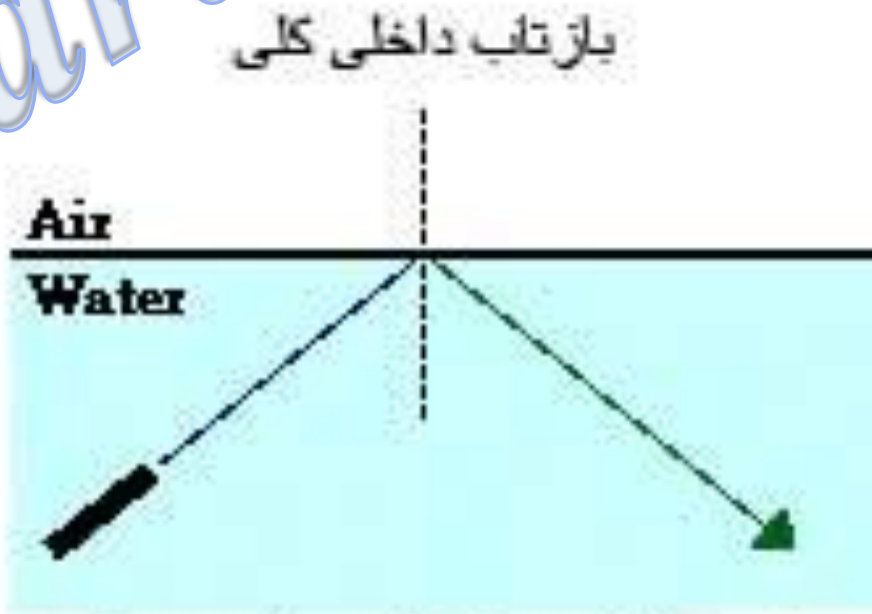
مثال شکل روبه‌رو باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی را نشان می‌دهد که از هوا و با زاویهٔ تابش 45° بر سطح تیغهٔ تختی از کوارتز می‌تابد. زاویه‌های شکست برای این دو پرتو را محاسبه کنید. ضریب شکست نورهای قرمز و آبی در کوارتز به‌ترتیب برابرند با $n_{\text{قرمز}} = 1/459$ و $n_{\text{آبی}} = 1/467$.

Dr:B.Barati

بازتابش داخلی کلی : وقتی نور از محیطی با ضریب شکست بیشتر به‌طور مایل وارد محیطی با ضریب شکست کمتر شود، به ازای زاویهٔ تابش خاصی موسوم به زاویهٔ حد، زاویهٔ شکست 90° می‌شود و از آن پس برای هر زاویهٔ تابش بزرگ‌تری همهٔ نور فرودی بازمی‌تابد که به این پدیده، بازتاب داخلی کلی گفته می‌شود.



زاویه تابش مساوی زاویه حد است.

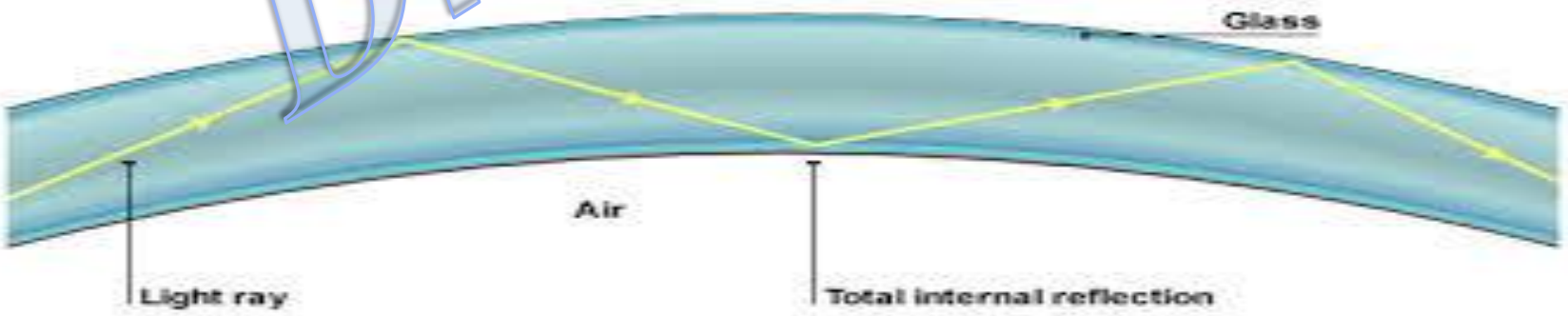


زاویه تابش بزرگتر از زاویه حد است.

Dr:B.Barati

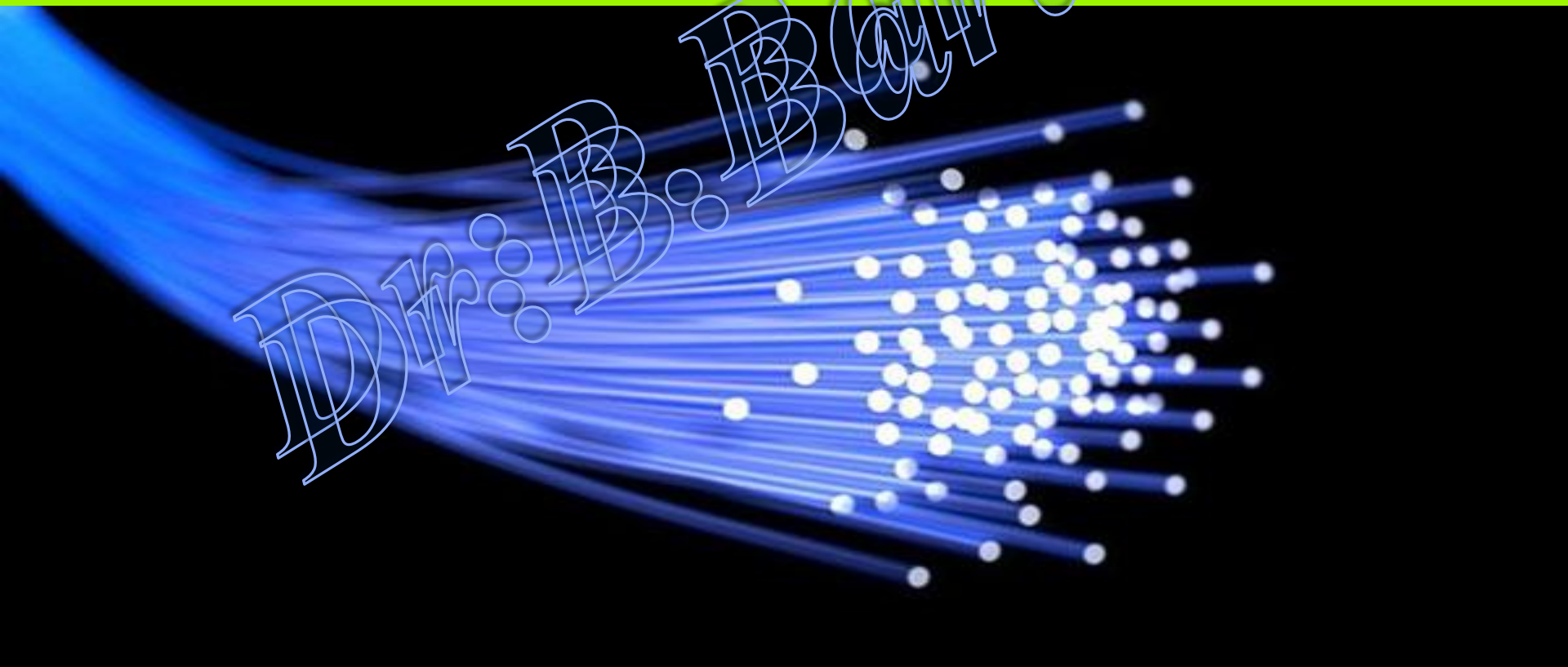
تار نوری :

تار نوری براساس بازتابش داخلی کلی عمل می کند در مرکز یک تار نوری، مغزی استوانه‌ای شفافی از جنس شیشه یا پلاستیک با ضریب شکست نسبتاً بالا قرار دارد. ضخامت این مغزی می‌تواند تا چند میکرومتر باشد. اطراف مغزی با غلافی پوشیده شده است که آن نیز شفاف است، ولی ضریب شکستِ بسیار کوچک‌تری از ضریب شکست مغزی دارد تا زاویهٔ حد به اندازهٔ کافی کوچک باشد. نور طوری از یک سر مغزی وارد می‌شود که به مرز مغزی ــ غلاف تحت زاویه‌ای بزرگ‌تر از زاویهٔ حد بتابد و در نتیجه تماماً به درون مغزی بازتاب کند. سپس همین اتفاق در مرز روبه‌روی مرز قبلی رخ می‌دهد و نور بر اثر بازتاب داخلی کلی دوباره به مغزی بازتابیده می‌شود و این رفت و برگشت نور در مسیری زیگزاگ ادامه می‌یابد (شکل).

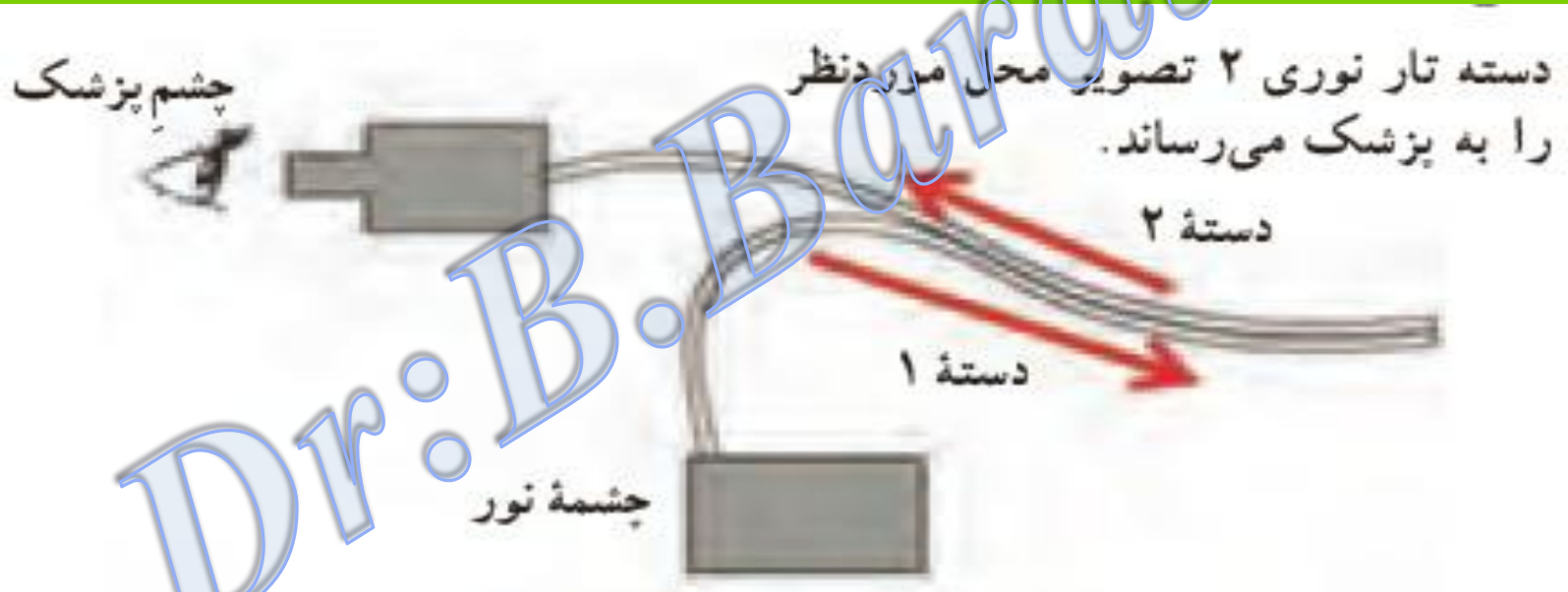


Dr.B.Barati

توجه مهم: در یک تار نوری خوب، نور در مغزی کمی جذب پیدا می کند و بنابراین می‌تواند پیش از آنکه شدتش کاهش یابد، تا مسافت‌های طولانی حرکت کند. تارهای نوری اغلب به‌صورت دسته‌ای کنار هم قرار می‌گیرند تا به شکل یک کابل درآیند. چون تارها بسیار نازک‌اند کابل‌ها نسبتاً نازک و انعطاف‌پذیر هستند و به این ترتیب می‌توانند در بسیاری موارد، برای انتقال اطلاعات جایگزین کابل‌های فلزی بزرگ سنگین (مسی) شوند.



کاربرد تار نوری در پزشکی: یکی از کاربردهای مهم تارهای نوری در عمل آندوسکوپی در پزشکی است. از آندوسکوپ برای دیدن درون بدن، بدون انجام جراحی استفاده می‌شود. در آندوسکوپی، جراح دو دسته تار نوری را وارد بدن بیمار می‌کند که یکی نور را به محل موردنظر می‌رساند و دیگری تصویر محل موردنظر را به یک چشمی یا صفحهٔ نمایشگر می‌رساند.

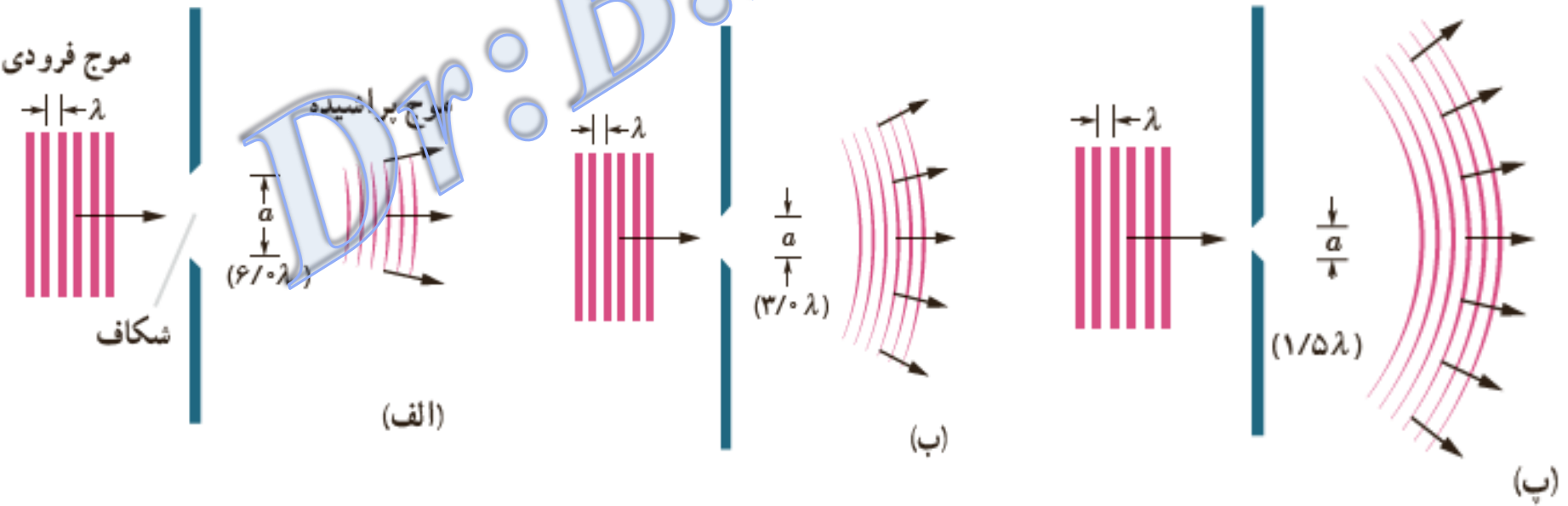


Dr:B.Barati

شکل‌های زیروضعیت طرح‌واری را نشان می‌دهد که در آن موجی تخت با طول‌موج λ به مانعی می‌رسد که شکافی به پهنای a دارد. در شکل **الف** ، پهنای شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول‌موج λ است ($a=۶/۰\lambda$). همان‌طور که دیده می‌شود قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد تقریباً تخت باقی می‌ماند.

در شکل **(ب)** پهنای شکاف کمتر شده است ($a=۳/۰\lambda$) و همان‌طور که می‌بینید قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد از حالت موج تخت خارج شده و نسبت به حالت قبل، مقدار بیشتری به اطراف گسترده شده است.

در شکل **(پ)** که پهنای شکاف، $a=۱/۵\lambda$ شده است، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد کاملاً از حالت موج تخت خارج و به اطراف شکاف گسترده شده است.



Dr.B.Barati

پراش موج

اگر در مسیر پیشروی یک موج مانعی قرار دهیم بخشی از موج که به مانع برخورد می کند، توسط مانع بازتاب و یا جذب می‌شود و به پشت مانع نمی‌رسد و بخشی دیگر، از لبه‌های مانع یا شکاف‌های موجود در آن، می گذرد. در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول‌موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می کند، به‌وضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود.

به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف با پهنایی از مرتبهٔ طول‌موج، به اطراف گسترده می‌شود،

Dr.B.Barati

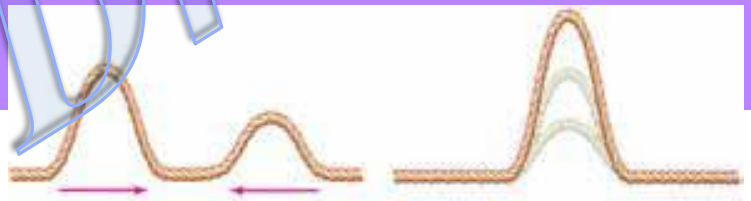
مثال: در تلویزیون‌های متداول، سیگنال‌ها از آنتن‌های روی دکل‌ها به گیرنده‌های تلویزیون فرستاده می‌شود. حتی وقتی گیرنده به دلیل وجود یک تپه یا ساختمان در معرض ارسال مستقیم امواج یک آنتن نباشد، همچنان سیگنال را به دلیل پراش امواج از لبه‌های مانع دریافت خواهد کرد (اگر سیگنال در اطراف آن مانع به حد کافی به داخل «ناحیهٔ سایهٔ» مانع پراشیده شود). سابق بر این، طول‌موج سیگنال‌های تلویزیونی در حدود 50 cm بود، ولی طول‌موج سیگنال‌های تلویزیونی دیجیتالی که امروزه از آنتن‌ها فرستاده می‌شود بسیار کمتر است. آیا این تغییر طول‌موج پراش سیگنال‌ها به داخل ناحیهٔ سایه را افزایش می‌دهد یا کاهش؟

Dr:B.Barati

اصل برهم نهی امواج: وقتی چندین موج به‌طور هم‌زمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آنها برابر مجموع اثرهای مجزای هر یک از آنها است.

تداخل امواج (درهم روی یا برهم نهی امواج):

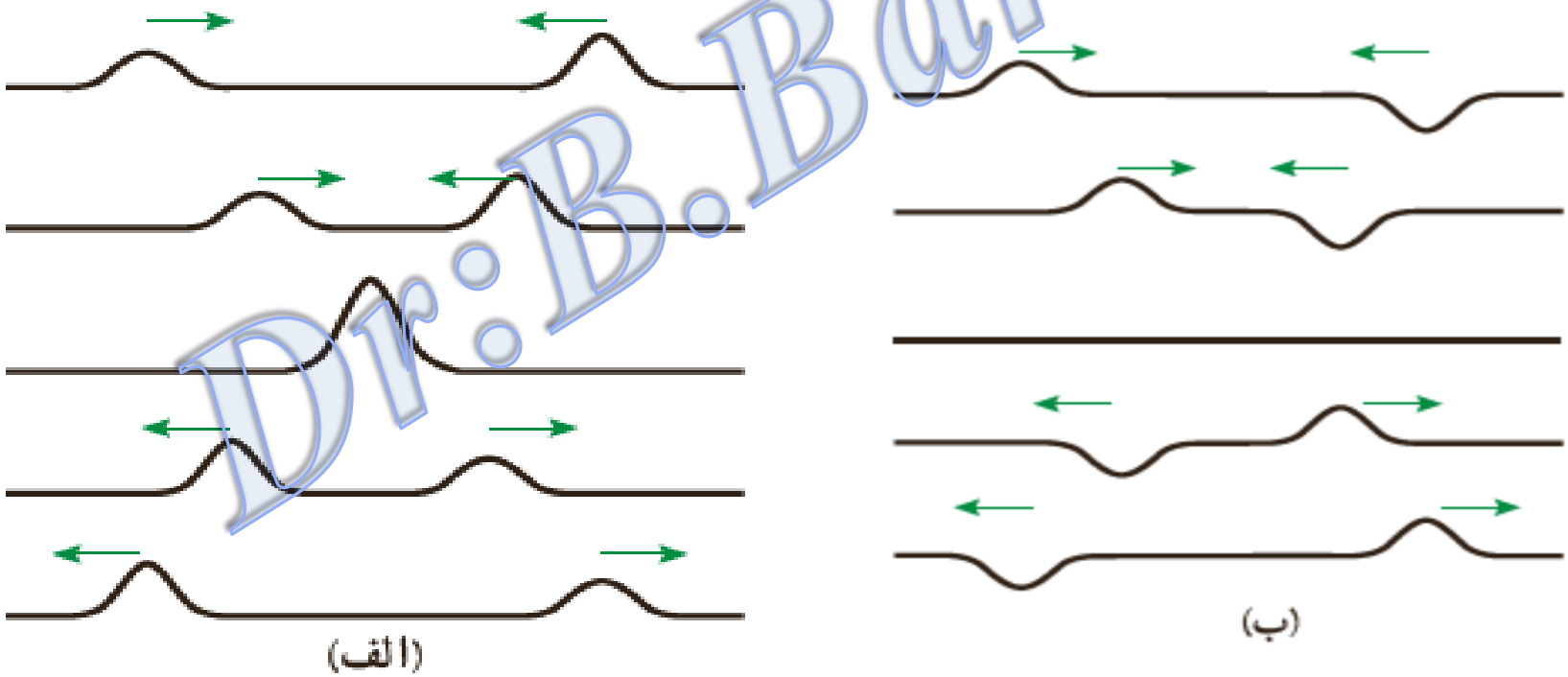
هرگاه مطابق شکل دو تپ را در طنابی ایجاد کنیم وقتی این تپ‌ها به هم می‌رسند و با یکدیگر همپوشانی می‌کنند، بنا بر اصل برهم‌نهی، تپ برایند یا مجموع دو تپ برابر است. توجه کنید چه برای تپ‌ها و چه برای موج‌هایی که همپوشانی می‌کنند، آنها به هیچ وجه شکل و حرکت یکدیگر را تغییر نمی‌دهند، و بنابراین پس از همپوشانی، بدون هرگونه تغییر شکلی به حرکت خود ادامه می‌دهند. به ترکیب موج‌ها با یکدیگر، تداخل می‌گویند. به بیان دیگر تداخل، ترکیب دو یا چند موج است که هم‌زمان از یک منطقه عبور می‌کنند.



Dr.B.Barati

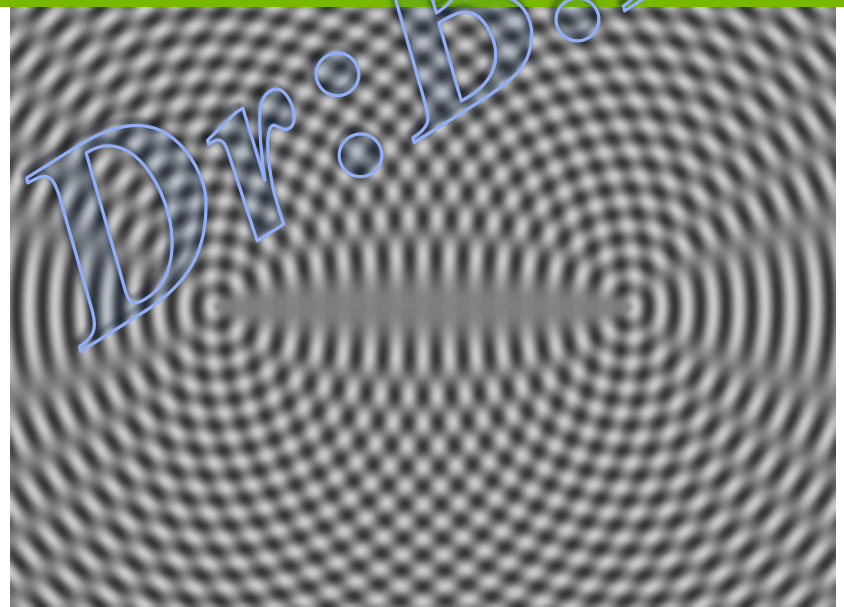
هرگاه امواج مطابق شکل الف بهم برسند هنگام همپوشانی تپ بزرگتری را ایجاد می کنند که به آن تداخل سازنده می گویند.

وقتی تپ ها مطابق شکل (ب) به هم برسند هنگام همپوشانی اثر یکدیگر را حذف می کنند که به آن تداخل ویرانگر می گویند



Dr:B.Barati

تداخل امواج سطحی آب : برای مشاهدهٔ تداخل امواج سطحی بر سطح آب، دو گوی کوچک را با بسامد یکسان، به‌طور هم‌زمان بر سطح آب به نوسان درمی‌آوریم. دو دسته موج دایره‌ای ایجاد می‌شود که بی‌آنکه بر انتشار یکدیگر تأثیر بگذارند با یکدیگر همپوشانی می کنند و نقشی مانند نقش شکل (الف) را بر سطح آب به‌وجود می‌آورند. امواج در برخی نقاط همدیگر را تقویت می کنند و تداخل سازنده انجام می‌دهند و در برخی نقاط همدیگر را تضعیف می کنند و تداخل ویرانگر انجام می‌دهند. به عبارتی، برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌های دو موج که در یک زمان در نقطه‌ای به همدیگر برسند، سطح آب را در آن نقطه به‌شدت بالا یا پایین می‌برند، در

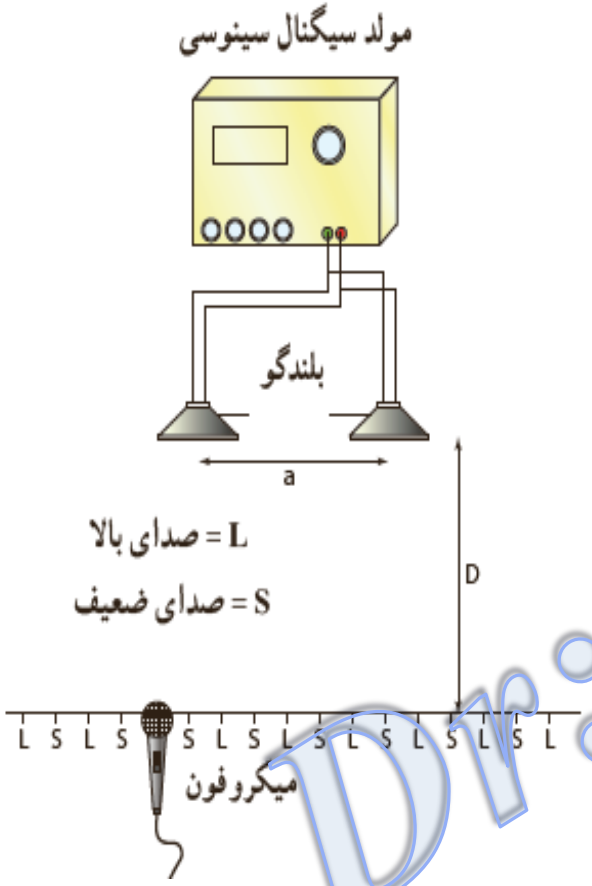


Dr:B.Barati

حالی که اگر برآمدگی یک موج در یک زمان و در یک نقطه به فرورفتگی موج دیگر برسد، دو موج یکدیگر را تضعیف می‌کنند و بنابراین سطح آب در چنین نقطه‌ای نوسان چندانی نخواهد داشت. به این ترتیب، در برخی نواحی روی سطح آب دامنهٔ موج برایند بیشینه و در برخی ناحیه‌ها، کمینه است. چنین نقش متناوب یک‌درمیانی از بیشینه‌ها و کمینه‌ها را نقش تداخلی امواج سطحی آب می‌نامیم و آن را به‌وضوح می‌توانیم در سایهٔ تشکیل شده بر سطح ورقهٔ کاغذ زیر تشت موج مشاهده کنیم(شکل ب)

Dr:B.Barati

مختصر توضیحی در باره تداخل امواج صوتی: در این آزمایش دو بلندگو که به یک مولد سیگنال الکتریکی متصل اند امواج سینوسی هم‌بسامدی را در فضا منتشر می کنند. با حرکت دادن میکروفون در امتداد خط فرضی نشان داده شده در شکل که در فاصلهٔ مناسبی از بلندگوها قرار دارد درمی‌یابیم که بلندی صدا به‌طور متناوب کم و زیاد می‌شود. علت این پدیده را به‌سادگی می‌توان براساس تداخل‌های سازنده و ویرانگر امواج صوتی توضیح داد.

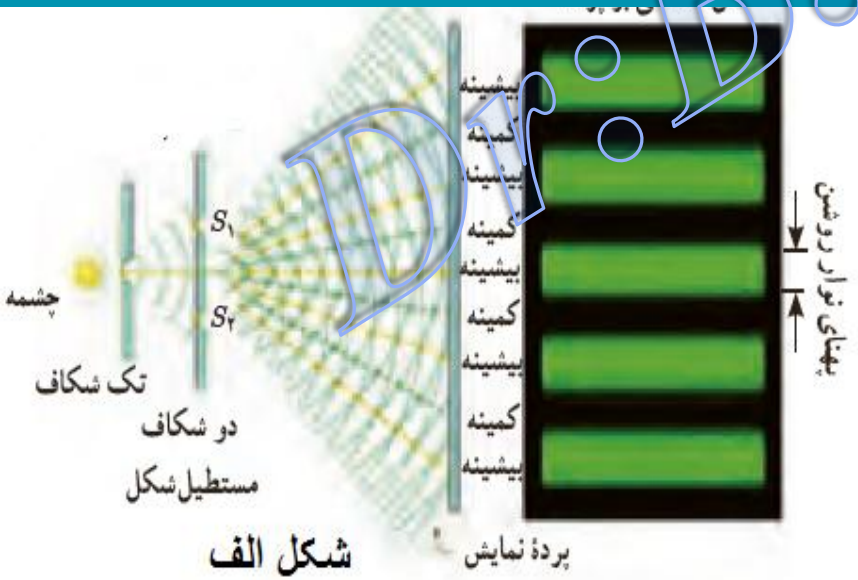


Dr.B.Barati

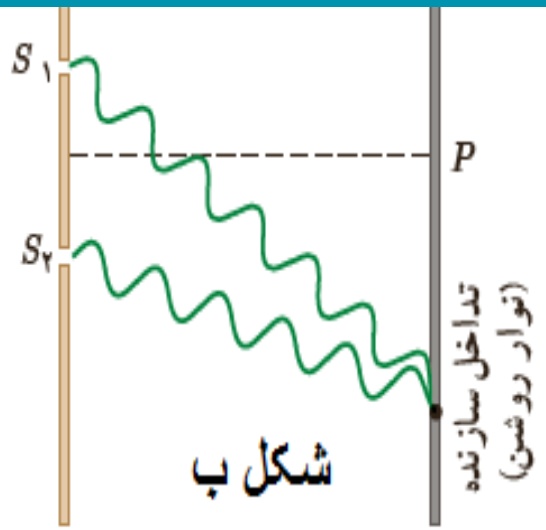
تداخل امواج نوری

شکل **الف** طرحی از چگونگی آزمایش اولیهٔ یانگ برای تحقیق تداخل امواج نوری را نشان می‌دهد. نور حاصل از یک چشمهٔ تکفام (اینجا سبزرنگ) بر تک‌شکافی می‌تابد. سپس نور خروجی بر اثر پراش، گسترده می‌شود و دو شکاف S_1 و S_2 را روشن می‌کند. موج‌های حاصل از پراش نور توسط این دو شکاف با یکدیگر تداخل می‌کنند و نقش حاصل از این تداخل را می‌توان روی پرده‌ای که در ناحیهٔ سمت راست دو شکاف قرار دارد مشاهده کرد. روی پرده، نقطه‌هایی با تداخل سازنده، نوارها یا فریزهای روشن را تشکیل می‌دهند (شکل ب)، و نقطه‌هایی با تداخل ویرانگر نوارها یا فریزهای تاریک را تشکیل می‌دهند (شکل پ.) که می‌توان آنها را بین نوارهای روشن مجاور شکل **الف** مشاهده کرد.

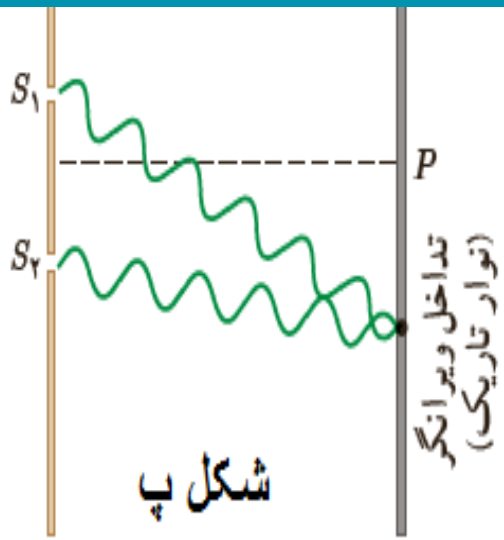
نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل‌های سازنده و ویرانگرند، نقش تداخلی را دارند



شکل الف



شکل ب

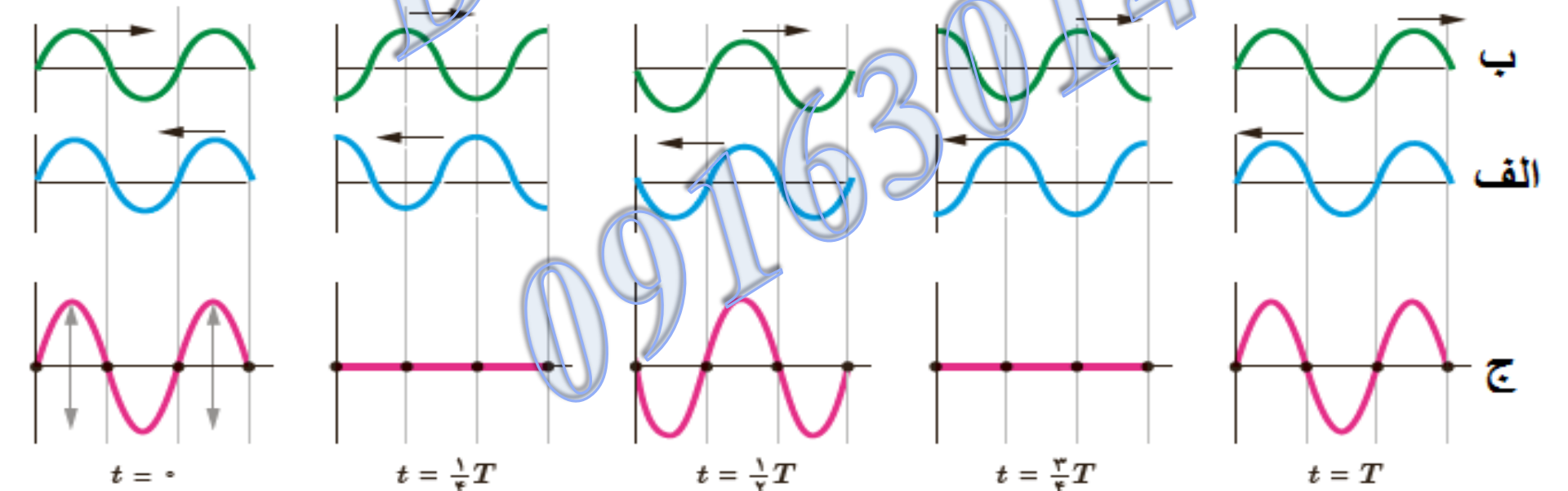


شکل پ

Dr.B.Barati

نحوه تشکیل امواج ایستاده درریسمان: ریسمانی را تصور کنید که در یک انتها ثابت شده است و انتهای دیگر آن به نوسان درمی‌آید. وقتی موج بازتابیده از انتهای ثابت (که در شکل **الف** با رنگ آبی مشخص شده است و به سمت چپ حرکت می‌کند) با موج تابیده (که در شکل **ب** با رنگ سبز مشخص شده است و به سمت راست حرکت می‌کند) ترکیب شوند موجی برایند ایجاد می‌کنند که شکل آن از اصل برهم‌نهی حاصل می‌شود (این موج در شکل **ج** با رنگ قرمز مشخص شده است).

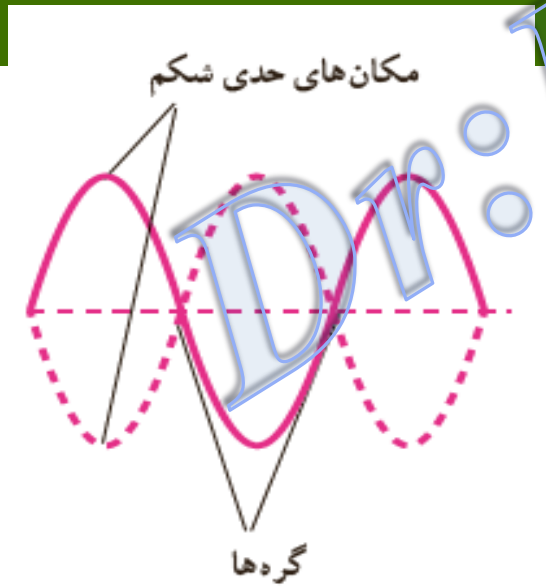
نقشر موج برایند را در این حالت موج ایستاده گویند زیرا نقش های این موج به چپ یا راست حرکت نمی کند و محل گره ها و شکم ها ثابت است

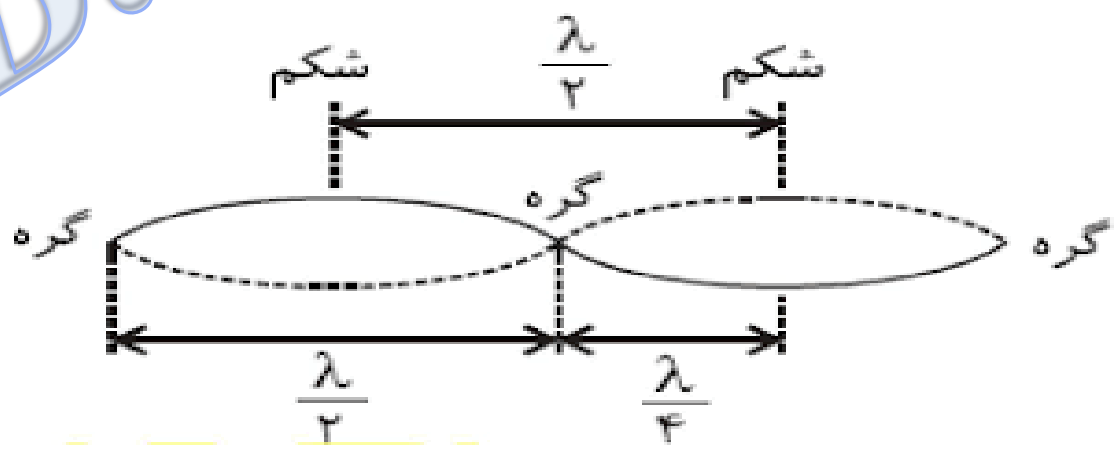


Dr.B.Barati
09163014685

چند مشخصه بارز امواج ایستاده: مکان‌هایی در طول ریسمان، موسوم به گره، وجود دارد که در آنها ریسمان هرگز حرکت نمی‌کند. وسط گره‌های مجاور را شکم می‌گویند که دامنهٔ موج برایند در آنجا بیشینه است.

ـ فاصلهٔ گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول موج ($\frac{\lambda}{2}$) و بنابراین فاصلهٔ گره‌ها از شکم‌های مجاور برابر با ربع طول‌موج ($\frac{\lambda}{4}$) است.

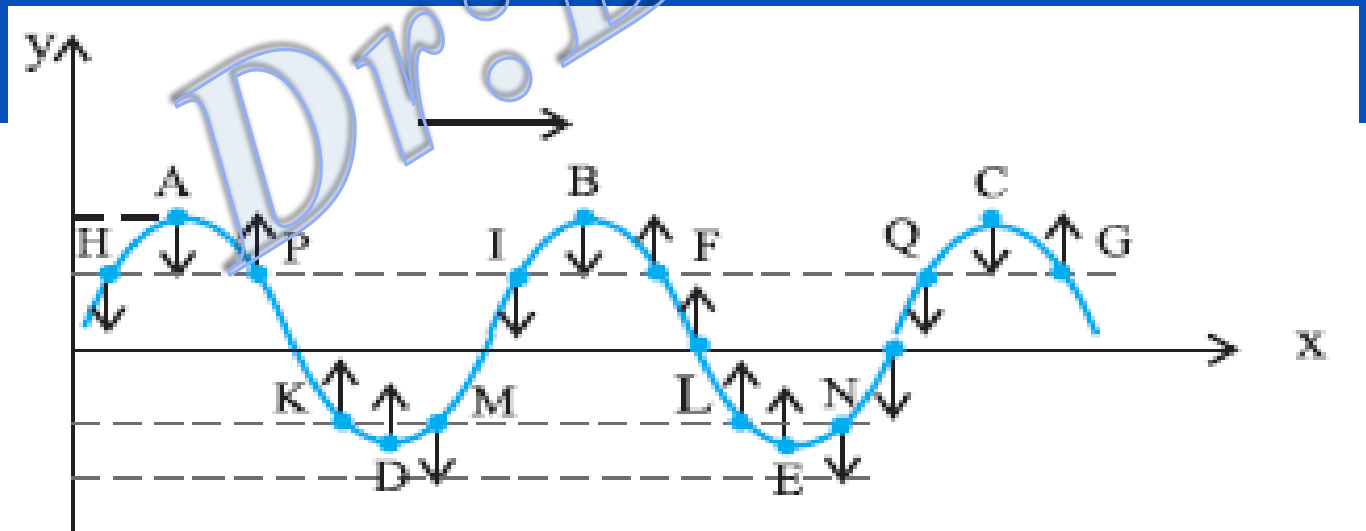




Dr:B.Barati

پر اساس شکل ها: در تمام لحظات وضعیت موج‌های تابیده و بازتابیده در هر یک از گره‌ها به گونه‌ای است که یکدیگر را حذف و اثر یکدیگر را خنثی می کنند (تداخل ویرانگر). در این حالت اصطلاحاً می گوییم این دو موج در این نقطه‌ها (گره‌ها) کاملاً ناهم‌فاز (در فاز مخالف)اند. اما در مکان هر یک از شکم‌ها وضعیت موج‌های تابیده و بازتابیده در تمام لحظات به گونه‌ای است که همدیگر را تقویت می کنند (تداخل سازنده). در این حالت اصطلاحاً می گوییم این دو موج در این نقاط هم‌فازند.

نکته خیلی مهم:در شکل زیر نقطه های B و C با نقطه ی A ، هم فاز و نقطه های D و E با نقطه ی A در فاز مخالف اند. هم چنین نقطه های F و G با نقطه P هم فاز و نقطه های M و N با نقطه ی P در فازمخالف اند.



Dr.B.Barati

ویژگی نقاط هم فاز

۱)در هر لحظه مکان آنها یکسان است. $x_A = x_B$

۲) در هر لحظه سرعت آنها هم اندازه و هم جهت است.

۳) در هر لحظه اختلاف فاز آنها مضرب زوجی از π رادیان است. $\Delta\Phi = 2n\pi$

۴) در هر لحظه فاصله ی آنها از یکدیگر مضرب صحیحی از طول موج یا مضرب زوجی از نصف طول موج است. $\Delta x = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2}$

۵) زمان لازم برای انتقال موج از یک نقطه تا n امین نقطه ی هم فاز با آن،مضرب زوجی از نصف دوره ی نوسان یا مضرب صحیح از دوره ی نوسان است. $\Delta t = 2n\frac{T}{2} = nT$

Dr:B.Barati

ویژگی نقاط در فاز مخالف

۱) در هر لحظه مکان آنها قرینه است. $x_A = -x_B$

۲) در هر لحظه اندازه ی سرعت آنها با هم برابر و در خلاف جهت می باشد. $V_A = -V_B$

۳) در هر لحظه اختلاف فاز آنها مضرب فردی از π رادیان است. $\Delta\Phi = (2m-1)\pi$

۴) در هر لحظه فاصله ی آنها از یکدیگر مضرب فردی از نصف طول موج است

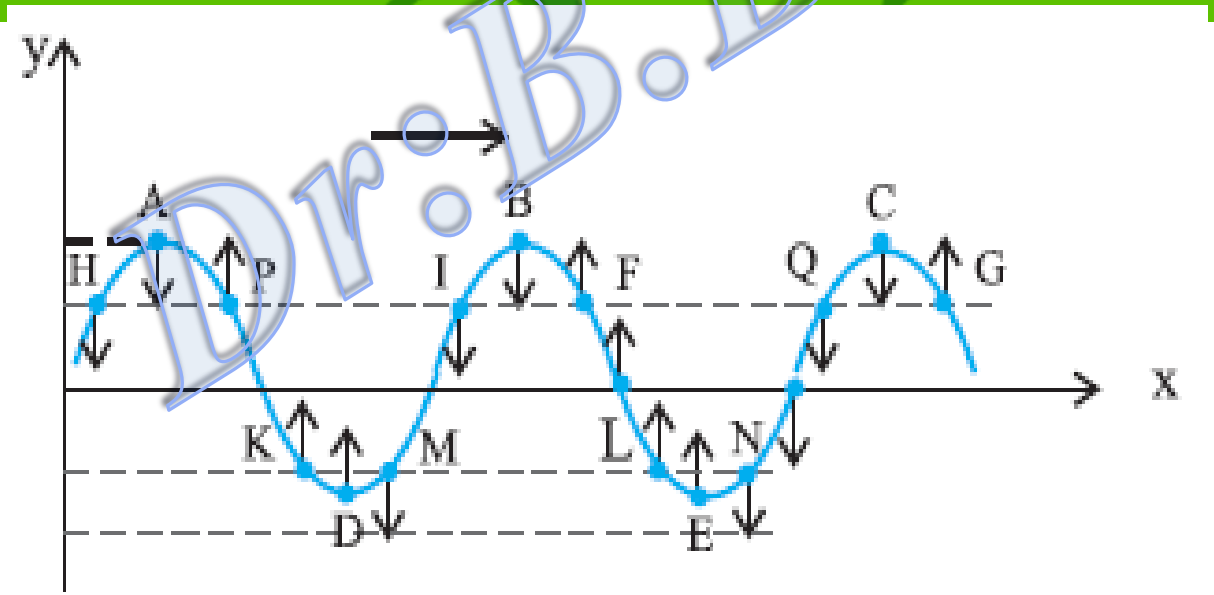
$$\Delta x = (2m-1)\frac{\lambda}{2}$$

۵) زمان لازم برای انتقال موج از یک نقطه تا mامین نقطه ی در فاز مخالف با آن، مضرب فردی از نصف دوره ی نوسان $(\frac{T}{2})$ است.

$$\Delta t = (2m-1)\frac{T}{2}$$

Dr:B.Barati

مهم:در شکل فوق در هنگام انتشار موج بطرف راست در محیط P ، F ، G ، Mو N از مرکز نوسان خود دور و نقطه های H ، I ، Q ، K و L به مرکز نوسان نزدیک می شوند دقت کنید هر ذره از محیط انتشار موج می خواهد وضعیت ذره ی ما قبل خود را تکرار کند به عنوان مثال چون ذره ی ماقبل ذره ی P به طرف بالا حرکت کرده است این ذره نیز بطرف بالا حرکت خواهد کرد.پس برای تعیین نوع حرکت نقاط و اختلاف فاز باید از این نمودار کمک گرفت.



Dr.B.Barati

نکته مهم: برای اینکه بتوانید سریعاً تشخیص دهید دو نقطه هم فازند و یا در فاز مقابل، می توان از این نسبت ها استفاده کرد.

$$\frac{\Delta x}{\left(\frac{\lambda}{2}\right)} = \frac{\Delta t}{\left(\frac{T}{2}\right)} = \frac{\Delta \Phi}{\pi}$$

اگر حاصل عددی فرد باشد آن دو نقطه در فاز مقابل و اگر حاصل عددی زوج باشد آن دو نقطه هم فاز و اگر حاصل نه فرد باشد و نه زوج، آن دو نقطه نه هم فاز و نه در فاز مقابلند.

$$\begin{cases} 2n \rightarrow \text{همفاز} \left(\text{عدد زوج}\right) \\ 2n-1 \rightarrow \text{فاز مقابل} \left(\text{عدد فرد}\right) \end{cases}$$

Dr:B.Barati

مثال: چشمه موجی ، موجی با بسامد $20Hz$ و سرعت $60\ \frac{cm}{s}$ در یک محیط همگن تولید و منتشر می سازد.دو نقطه به فاصله $12cm$ از هم، در چه وضعیتی قرار داشته و اختلاف فاز بین دو نقطه چند رادیان است؟

الف) ۴، هم فاز ب) ۴ ،در فاز مخالف ج) ۸ ، هم فاز ب) ۵ ،در فاز مخالف

چون عدد ۸ زوج است هم فازند $\frac{\Delta x}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{12}{\frac{3}{2}} = 8 \Rightarrow 2n = 8$

$$\Delta\phi = 2n\pi \Rightarrow \Delta\phi = 8\pi$$

Dr.B.Barati

مثال: چشمه موجی ، موجی با بسامد ۲۰Hz و سرعت $\frac{cm}{s}$ ۶۰ در یک محیط همگن تولید و منتشر می سازد دو نقطه به فاصله ۷/۵cm از هم، در چه وضعیت ارتعاشی قرار دارند و مدت زمانی که طول می کشد تا موج فاصله بین این دو نقطه را طی می کند چند ثانیه است؟

الف) $\frac{1}{24}$، هم فاز ب) $\frac{1}{12}$، هم فاز ج) $\frac{1}{8}$ فاز مخالف د) $\frac{1}{24}$، فاز مخالف

$$\frac{\Delta x}{\left(\frac{\lambda}{2}\right)} = \frac{7/5}{\left(\frac{3}{2}\right)} = 5$$ فاز مخالف

$$2m - 1 = 5$$

$$\Delta t = (2m-1)\frac{T}{2}$$

$$\Delta t = 5\frac{\frac{1}{20}}{2} = \frac{1}{8}(s)$$

Dr:B.Barati

مثال:دو نقطه روی یک موج بلهم فاصله ای معادل نصف طول موج دارند. اختلاف فاز میان این دو نقطه چند رادیان است؟

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2} \qquad \frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{2\pi}{\Delta\Phi} \Rightarrow \frac{\lambda}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{2\pi}{\Delta\Phi} \Rightarrow 2 = \frac{2\pi}{\Delta\Phi} \Rightarrow \Delta\Phi = \pi\,\text{rad}$$

الف)2π سازنده　　ب)π ویرانگر　　ج) $\frac{3\pi}{2}$ سازنده　　د) 3π ویرانگر

مثال:دو نقطه روی یک موج باهم به اندازه $\frac{2\pi}{5}$ اختلاف فاز دارند فاصله میان این دو نقطه ازهم چه کسری از طول موج است؟

الف) $\frac{2}{5}$　　الف) $\frac{1}{5}$　　الف) $\frac{3}{5}$　　الف) $\frac{4}{5}$

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{5} \qquad \frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{2\pi}{\Delta\Phi} \Rightarrow \frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{5}} = 5 = \Delta x = \frac{1}{5}\lambda$$

Dr.B.Baraati

مثال: سرعت انتشار موج در طول یک سیم $8\frac{m}{s}$ می باشد. در این سیم موجی با بسامد $40Hz$ ایجاد می کنیم. اختلاف فاز دو نقطه که در فاصله ی $10cm$ از هم قرار دارند چند رادیان است.

الف) π ب) 2π ج) 3π د) 4π

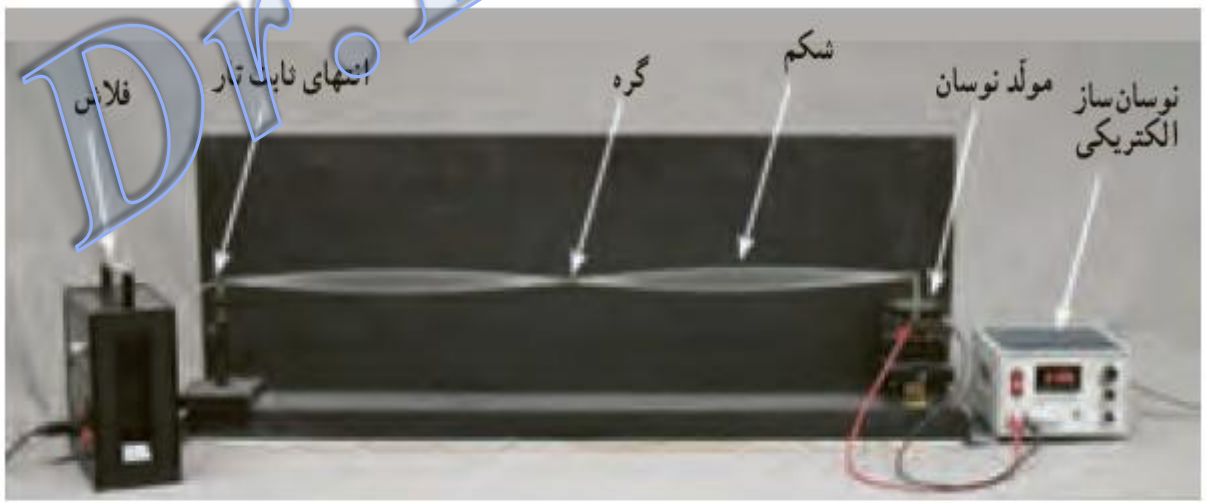
$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{8}{40} = \frac{1}{5}m = 20cm$$

$$\Delta x = 10cm = 0.1(m) \Rightarrow \frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{2\pi}{\Delta\phi} \Rightarrow \frac{20}{10} = \frac{2\pi}{\Delta\phi} \Rightarrow \Delta\phi = \pi rad$$

Dr.B.Barati

نوع موج در سازهای موسیقی: در سازهای موسیقی، موج‌های ایستاده را می‌توان با ضربه زدن بر تارها (مانند سنتور، سه‌تار، پیانو) و پوسته‌ها (مانند طبل، دف، تنبک)، و یا دمیدن در ستون‌های هوا (مانند نی، فلوت، اُرگ) ایجاد کرد.

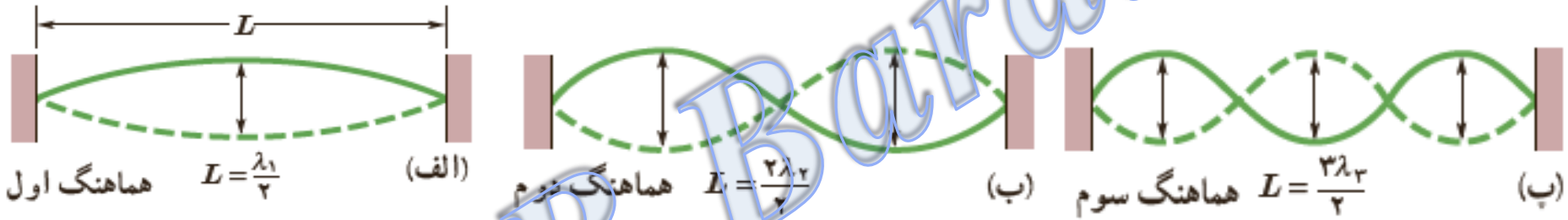
نحوه ایجاد بسامدهای تشدیدی در تار: شکل زیر تصویری واقعی از اسباب آزمایشی را نشان می‌دهد که در آن تاری کشیده شده، از یک سر به یک مولد نوسان و از سر دیگر به گیره‌ای متصل است. به‌ازای بسامدهای معیّنی از مولّد نوسان، تداخل موجب ایجاد موج ایستادهٔ بارزی (یا اصطلاحاً یک *مُدِ نوسان*) در تار می‌شود. گفته می‌شود تار در این بسامدهای معیّن که بسامدهای تشدیدی خوانده می‌شوند به تشدید درآمده است. اگر تار در بسامدی غیر از بسامدهای تشدیدی نوسان کند موج ایستادهٔ بارزی ایجاد نمی‌شود.



Dr.B.Barati

محاسبه بسامدهای تشدیدی در طناب (تار) با دو انتهای ثابت (شرح – شکل – رابطه ، قوانین)

مطابق شکل، هرگاه طنابی را به ارتعاش در اوریم در طول طناب تعدادی گره و شکم تشکیل می شوند پدیده تشدید وقتی رخ می دهد که طول طناب مضرب درستی از $\frac{\lambda}{2}$ باشد.



مد اصلی ،هماهنگ اول، بسامد اصلی n=1

شماره صوت ▪ شماره هماهنگ ▪ تعداد شکم=n (عدد هماهنگ)

۱- تعداد گره=n

فرکانس هماهنگ‌ها

$$\lambda = \frac{V}{fn} \Rightarrow f_n = \frac{nV}{2L}$$

$$L = n\frac{\lambda_n}{2}$$

سرعت موج

طول طناب

Dr:B.Barati

قوانین تار

۱)اثر طول طناب $f_n \propto \frac{1}{L}$

۲)اثر سرعت موج $f_n \propto V$

۳)اثر هماهنگ ها: همه هماهنگ های فرد و زوج تشکیل می شوند. $f_n \propto n$

تعریف هماهنگ ها: مضارب صحیحی از بسامدهای یک صوت را هماهنگ های آن صوت گویند.

نکته‌فرکانس هماهنگ های تشکیل دهنده در طنابی با دو انتهای بسته مضرب درستی از فرکانس صوت اصلی است.

$$f_n = nf_1$$

Dr.B.Barati

طول یکی از تارهای پیانویی ۱/۱۰ m و جرم آن ۹/۰۰ g است. اگر بسامد اصلی این تار ۱۳۱Hz باشد، الف) تندی انتشار موج عرضی در تار چقدر است؟ ب) این تار تحت چه کششی قرار دارد؟ پ) بسامدهای چهار هماهنگ نخست این تار چقدر است؟

$$f_n = \frac{nv}{2L} \Rightarrow (131\text{Hz}) = \frac{(1)v}{(2)(1/10\,\text{m})} \Rightarrow v = 288/2\,\text{m/s} \simeq 288\,\text{m/s}$$

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \Rightarrow (288/2\,\text{m/s}) = \sqrt{\frac{F(1/10\,\text{m})}{(9/00\times10^{-3}\,\text{kg})}} \Rightarrow F = 679/6\,\text{N} \simeq 680\,\text{N}$$

$f_1 = 131\text{Hz}$ ⟹ $f_n = nf_1$

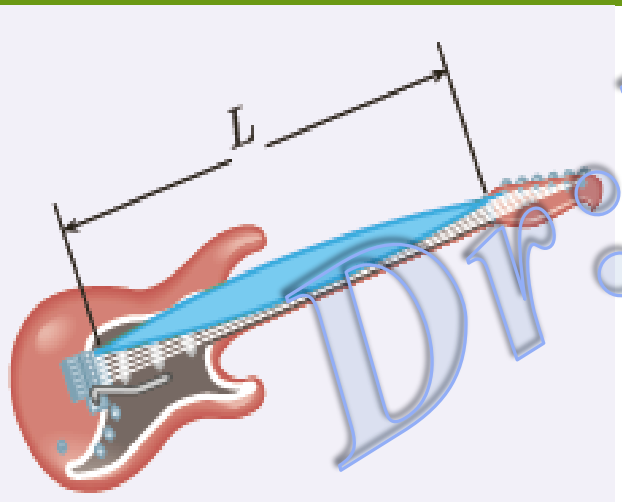
$f_2 = 2f_1 = 262\text{Hz}$

$f_3 = 3f_1 = 393\text{Hz}$

$f_4 = 4f_1 = 524\text{Hz}$

Dr:B.Barati

مثال: سنگین‌ترین تار یک گیتار الکتریکی دارای چگالی خطی جرمی $5/28\times10^{-3}\,kg/m$ است و تحت کشش $226\,N$ قرار دارد. این تار در هنگام ارتعاش، نُتی با بسامد $164/8\,Hz$ را ایجاد می‌کند که بسامد اصلی تار است. الف) طول تار را به‌دست آورید. ب) پس از مدتی که یک نوازنده، این گیتار را می‌نوازد، در نتیجهٔ گرم شدن و شُل شدنِ تارها، نیروی کشش تار مورد نظر کاهش می‌یابد و به $209\,N$ می‌رسد. در این حالت بسامد اصلی این تار چقدر شده است؟



Dr.B.Barati

پرسش: الف) چرا با سفت کردن سیم گیتار، بسامدی که هنگام نواختن می‌شنوید زیاد می‌شود؟

ب) چرا نوازندگان گیتار پیش از نواختن روی صحنهٔ نمایش، گیتار را به حد کافی می‌نوازند و سپس آن را مجدداً کوک می‌کنند؟

Dr:B.Barati
09163014685

مثال:در طول تار مرتعشی با دو انتهای ثابت که امواج ایستاده تشکیل شده است، ۵ گره وجود دارد طول تار را با ثابت ماندن جرم واحد طول و نیروی کشش آن ۵۰ درصد افزایش می دهیم و هم چنان در تار با همان بسامد قبلی امواج ایستاده تشکیل می شود در این حالت چندگره در تار ایجاد شده است؟

الف) ۴ ب) ۵ ج) ۶ د) ۷

تعداد گره $n = 5 \quad 1 \quad 0 \quad 4$

$F =$ ثابت

$\mu =$ ثابت $\Rightarrow V =$ ثابت

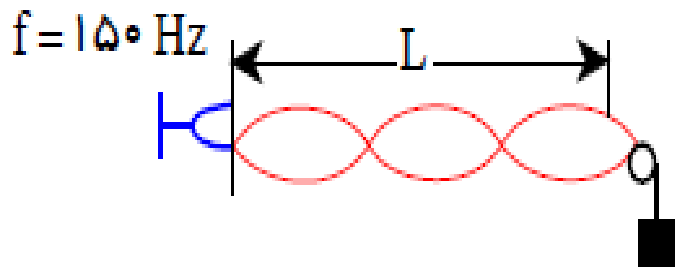
$$f_n = f'_n \Rightarrow \frac{nV}{2L} = \frac{n'V}{2L'} \Rightarrow \frac{4}{L} = \frac{n'}{1.5L} \Rightarrow n' = 6$$ تعداد شکم

$L' = L + 0.5L = 1.5L$ تعداد گره $= 6 + 1 = 7$

Dr:B.Barati

مثال: مطابق شکل در یک تار مرتعش موج ایستاده تشکیل شده است اگر طول تار L برابر ۶۰cm و جرم تار ۲gr باشد جرم وزنه ی آویخته شده از انتهای تار چند گرم است؟ g=10

الف) ۳۶۰ ب) ۶۸۰ ج) ۱۲۰۰ د) ۱۰۰۰



شکم ۳ = ۱-۴ = n

$$f = \frac{nV}{2L} \Rightarrow 150 = \frac{3V}{2 \times 0/6} \Rightarrow V = 60\frac{m}{s}$$

$$V = \sqrt{\frac{FL}{m}} \Rightarrow 60 = \sqrt{\frac{Mgl}{m}} \Rightarrow 3600 = \frac{M \times 10 \times 0/6}{2 \times 100^{-3}} \Rightarrow M = 1.2kg = 1200gr$$

Dr:B.Barati

مثال: در موج ایستاده ای که در یک بعد تشکیل شده است نقاط بین دو گره متوالی :

الف) هم فاز و هم بسامد

ب) در لحظه ی عبور از نقطه تعادل، سرعتی برابر دارند.

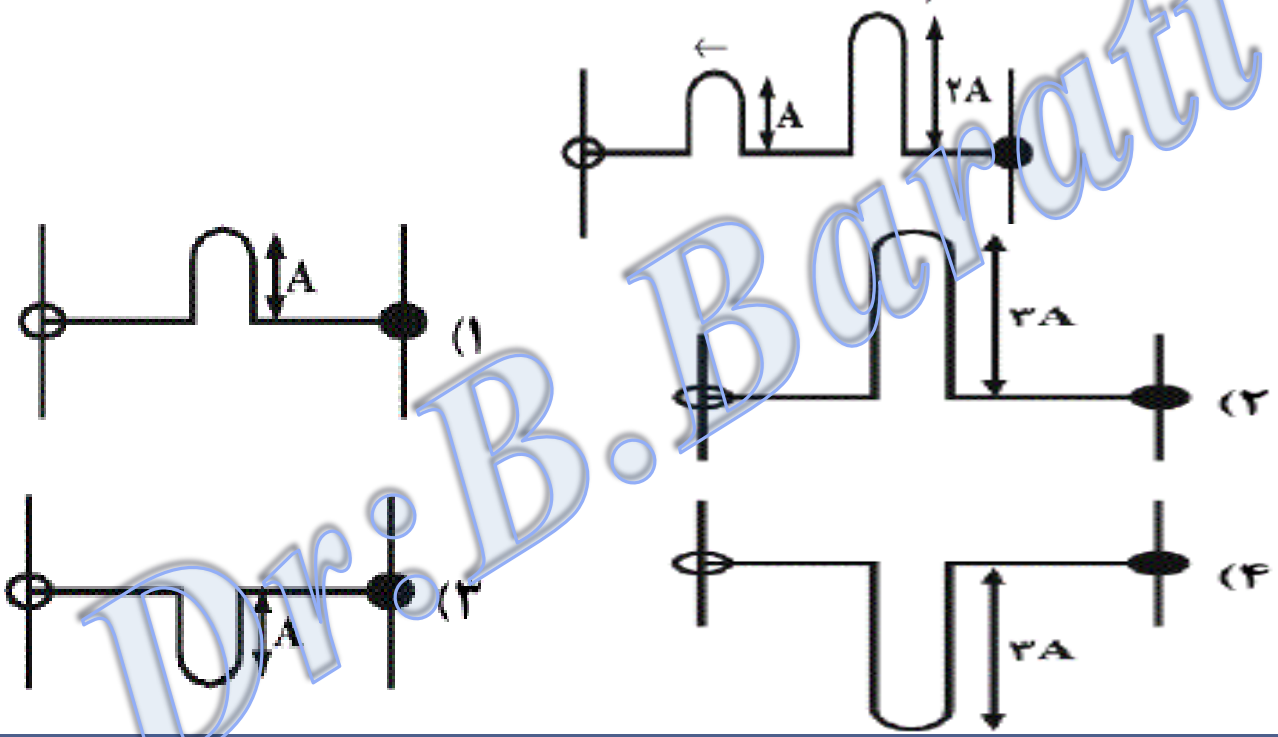
ج) بسامد آنها برابر با مجموع بسامد موج مادر تشکیل دهنده ی موج ایستاده است.

د) همه موارد.

حل) در موج ایستاده در یک تار (یک بعدی) نقاط بین دو گره متوالی هم فاز و تمامی نقاط هم بسامدند.

Dr:B.Barati

مثال: مطابق شکل زیر، دو تپ روی یک طناب در دو سوی مختلف در حال حرکتند. اگر یک انتهای طناب ثابت و انتهای دیگر آن آزاد باشد اولین بر هم نهی کامل دو تپ بازتابی از دو انتهای طناب به کدام صورت خواهد بود؟

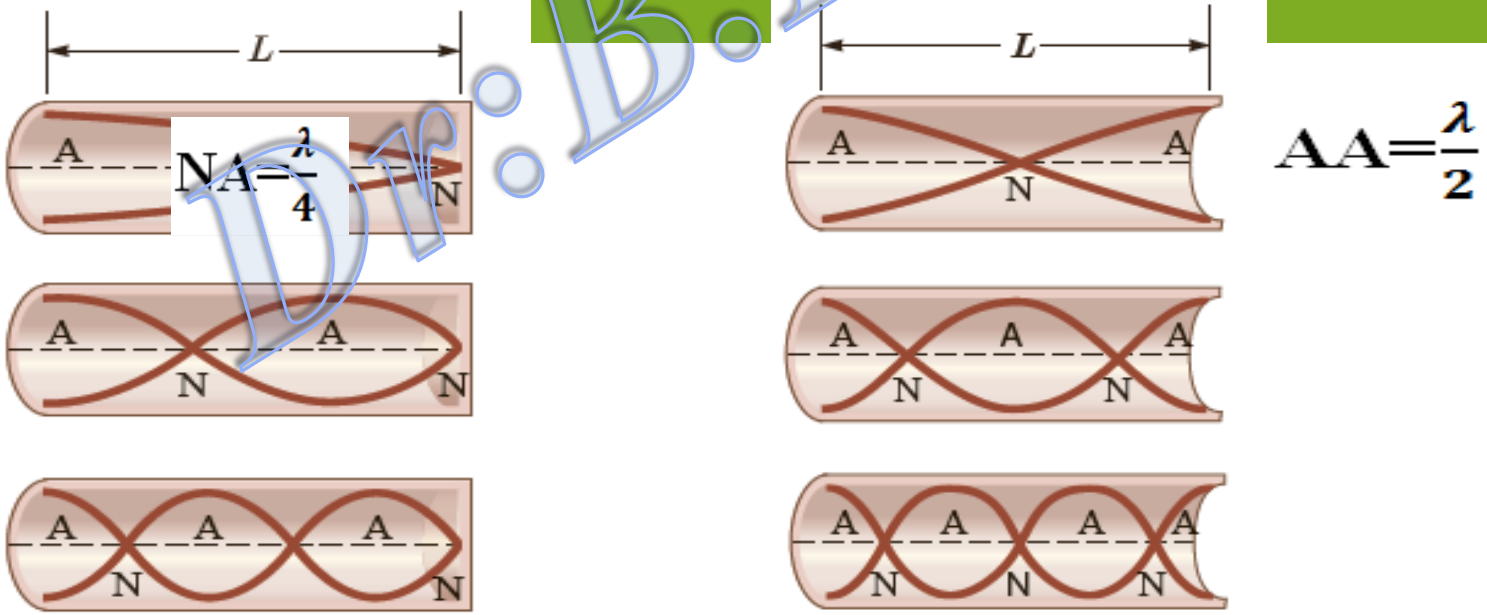


Dr.B.Barati

حل)در بازتاب از انتهای ثابت، تپ بازتاب دارای π رادیان اختلاف فاز با تپ تابشی است و در بازتاب از انتهای آزاد، بازتاب اختلاف فاز نخواهد داشت بنابراین گزینه ج درست می باشد.

موج ایستاده و تشدید در لوله‌های صوتی :

اگر بطریقی بتوان موج های صوتی ایستاده را در لوله ای پر از هوا ایجاد کرد این موج‌های صوتی در هوای درون لوله حرکت می‌کنند، از هر انتها بازمی‌تابند و به درون لوله بازمی‌گردند، حتی اگر آن انتها باز باشد. درست مانند تارهای کشیده اگر طول لوله‌مضربهای معینی‌از طول موج صوتی باشد برهم نهی موج های پیش رونده در جهت های مخالف ، نقش موج ایستاده بارزی را در لوله های صوتی باز و بسته ایجاد می کند



Dr.B.Barati

چرا وقتی اب را به درون ظرفی با دیواره‌های قائم مثل لیوان یا پارچ می‌ریزید، بسامد صدایی که می‌شنوید افزایش می‌یابد، یعنی صدای زیرتر و زیرتری را می‌شنوید؟ (*راهنمایی:* صدای حاصل از پرشدن ظرف گسترهٔ وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آنها با پایین‌ترین بسامد تشدیدی هوای درون ظرف ــ بسامد مد اول ــ منطبق است.)

Dr:B.Barati

تشدید در بطری و تشدیدگر هلمهولتز : اگر در دهانهٔ باریک یک بطری بدمید، می‌توانید آن را به صدا درآورید (شکل زیر) . در واقع یک بطری مانند یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز است که بسامدهای تشدیدی معیّنی دارد. وقتی در دهانهٔ یک بطری می‌دمیم گسترهٔ وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود. حال اگر یکی از این بسامدها با یکی از بسامدهای تشدیدی بطری منطبق باشد، یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود. البته نوسان‌های بطری دقیقاً مانند نوسان‌هایی نیست که در یک لولهٔ صوتی ساده ایجاد می‌شود، زیرا بطری یک گردن دارد و هوای موجود در این گردن با هوای موجود در بقیهٔ قسمت‌های بطری چیزی موسوم به تشدیدگر هلمهولتز را تشکیل می‌دهد که این موجب نوسانات هوای درون بطری می‌شود.

Dr:B.Barati

نکته قابل توجه در مورد این وسیله: تشدیدگرهای هلمهولتز نیز همانند لوله‌های صوتی بسامدهای تشدیدی معینی دارند و هرگاه بسامد یک صوت برابر با یکی از بسامدهای تشدیدی آنها باشد، تشدیدگر پاسخ قوی‌تری به این صوت می‌دهد.

تشدید گرهای هلمهولتزکروی در اندازه های مختلف

Dr:B.Barati
09163014685